Lane Medical Library

Ein Beitrag zur Kenntnis der congenitalen Sakraltumoren.*)

Von

August Grundhöfer aus Geinsheim.

Bei der Manigfaltigkeit des histologischen Baues der Tumoren in der Kreuzsteißbeingegend haben sich eine Reihe von Autoren mit diesem Gebiet beschäftigt. Dabei ging die Meinung über den histologischen Befund und über die Herkunft der Geschwülste oft weit auseinander.

Zur Zeit hat die Einteilung von Borsk allgemeine Geltung.

Als Matrix für die Sakraltumoren, die Organe oder doch Gewebe aus allen Keimblättern enthalten, wird auf Grund entwicklungsgeschichtlicher Studien der embryonale Schwanzfortsatz angenommen, der Gebilde aus allen drei Keimblättern enthält, die sich normaler Weise zurückbilden, gelegentlich persistieren und durch excessives Wachstum Anlaß zur Tumorbildung geben.

Ein derartiger Fall wurde in der Universitätsfrauenklinik in Erlangen von mir beobachtet und bearbeitet.

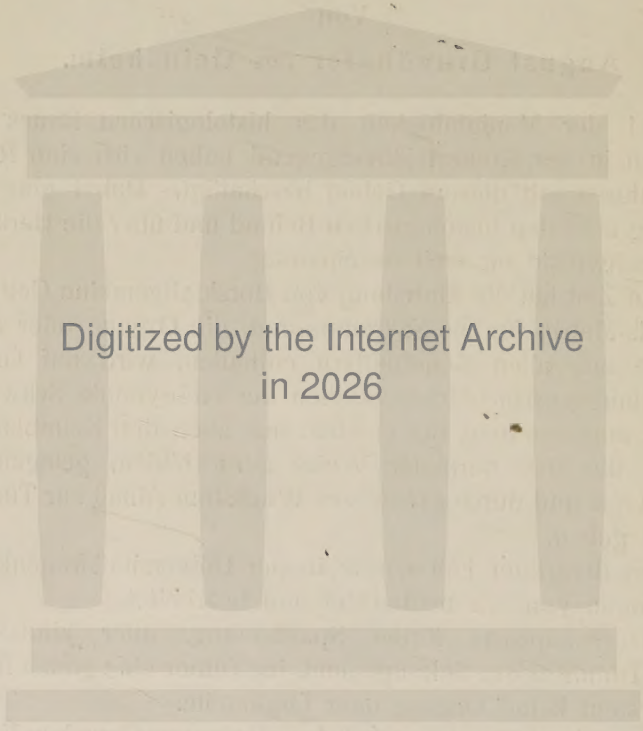
Makroskopisch: Keine Spaltbildung, über kindskopfgroßer Tumor in der Sakralgegend, im Tumor eine ganze Reihe von Cysten, keine Organe oder Organteile.

Mikroskopisch: Alle möglichen Arten von Geweben liegen regellos nebeneinander und gehen z. Teil ineinander über, keine Organe oder Andeutungen von solchen sind nachzuweisen.

Die Geschwulst ist als Mischgeschwulst oder Teratoid anzusprechen.

*) Auszug aus der Inaugural-Dissertation.

Pilger-Druckerei Speyer.


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40154019_0261

Medizinische Fakultät der Universität Erlangen.

1919

Lane Medical Library

Zwei Fälle von traumatischer Hämatomyelie.

Auszug

aus der

Inaugural-Dissertation 1919

von

Oberarzt Josef Grundl
aus München.

Nach einer kurzen Recapitulation über Wesen und Entstehung des Hämatomyelien weist Verfasser in einem Fall von Infanteriegeschoßverletzung in Höhe des ersten Lendenwirbels, sowie in einem weiteren Fall von Schrapnellschuß in derselben Höhe auf Grund der motorischen und sensiblen Ausfallserscheinungen und des Verhaltens der Reflexe nach Ausschluß von 10 anderen Differentialdiagnosen nach, daß es sich nur um Hämatomyelie handeln kann, wobei zu erwähnen ist, daß beide Fälle noch am Leben sind, ein anatomisches Präparat also nicht vorhanden ist. Verfasser stützte sich auf die chirurgische Krankengeschichte, ohne den beiden Operationen (Entfernung der Projektile) beizuwohnen.

Lane Medical Library

Zwei Fälle von traumatischer Hämatomyelie.

Auszug

aus der

Inaugural-Dissertation 1919

von

Oberarzt Josef Grundl
aus München.

1919

Schädigungen an Bestrahlten und Bestrahlern durch die im Röntgenzimmer entstehenden Gase

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

vorgelegt von

Heinrich Guthmann

aus Nürnberg

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Januar 1919

Universitäts-Buchdruckerei Junge & Sohn, Erlangen

1919

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen

Referent: Geheimrat Prof. Dr. L. Seitz.
Korreferent: Prof. Dr. E. Weinland.
Dekan: Prof. Dr. F. Jamin.

Sonderabdruck aus den Sitzungsberichten der Physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen Band 50. 51 (1918/19)

Meiner lieben Braut

Fräulein Dr. Konstanze Bauer

Schädigungen an Bestrahlten und Bestrahlern durch die im Röntgenzimmer entstehenden Gase.

Von Heinrich Guthmann.

Aus der Universitäts-Frauenklinik in Erlangen.

Inhalt.

Seite

I. Einleitung 148

II. Die Röntgenbetriebserkrankung und die sogenannte Röntgengasvergiftung 151

1. Magendarmerscheinungen 154
2. Blutveränderungen 159
3. Haut und Haare 162
4. Lungenerscheinungen 163
5. Allgemeines und psychisches Befinden 163
6. Kopfschmerzen 166
7. Geschmacks- und Geruchsirritationen 168

III. Fragestellung und Ziel unserer Versuche 169

IV. Die Veränderungen der Luft beim Durchgang des leuchtenden lauten Funkens 173

1. Die durch die Stickstoffverbrennung hervorgerufenen Veränderungen des Luftwiderstandes gegen den hochgespannten elektrischen Strom. Der Einfluß der Temperatur auf den Widerstand nach dem Funkenübergang 173
2. Säurebildung bei der Luftstickstoffverbrennung 178
3. Wie groß ist der Gehalt der dem Funken ausgesetzt gewesenen Luft an salpetriger Säure im Vergleich mit der gebildeten Gesamtsäure bei kurzer Betriebsdauer? . . . 183
4. Findet bei längerer Einwirkung des Funkens auf das gleiche Luftquantum eine Veränderung der Zusammensetzung der gebildeten nitrosen Gase statt? 185
5. Zusammenfassung der Ergebnisse bei der Bestimmung der Gesamtsäure und der salpetrigen Säure 189

V. Welche Folgerungen können wir aus den vorstehenden Ergebnissen ziehen in bezug auf die Luftveränderungen beim praktischen Röntgenbetrieb? 190

VI. Die Unhaltbarkeit der Annahme einer Vergiftung mit nitrosen Gasen im Röntgenzimmer 191
1. Das Vorkommen der salpetrigen Säure und ihrer Salze in der normalen Luft 191
2. Der Nachweis und die Bestimmung der salpetrigen Säure in der Luft 193
3. Die in der Röntgenzimmerluft wirklich enthaltenen Mengen an salpetriger Säure 194
4. Die rechnerische Kontrolle des Salpetrigsäuregehaltes der Röntgenzimmerluft 208
VII. Das Ozon im Röntgenzimmer 209
1. Vorkommen und Bildung des Ozons in der Luft 209
2. Der Nachweis sehr kleiner Ozonmengen, besonders in der Luft 211
3. Die Ozonbildung zwischen parallelen Drähten in der Luft 213
4. Die Berechnung des Ozonprozentgehalts und der maximalen im Röntgenzimmer möglichen Ozonmengen 217
5. Der Nachweis des Ozons in der Röntgenzimmerluft . . . 219
6. Die in der Röntgenzimmerluft wirklich vorhandenen Ozonmengen 225
7. Die Folgen des Aufenthaltes in einer mit Ozon verunreinigten Luft 227
8. Die Mitwirkung des Ozons in der Röntgenzimmerluft an den bei Bestrahlern und Bestrahlten auftretenden Schädigungen 230
VIII. Die Schutzmaßregeln beim Röntgen-Tiefentherapiebetrieb, mit besonderer Berücksichtigung der durch unsere Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse 233
IX. Zusammenfassung 240

I. Einleitung.

Die im folgenden mitgeteilten Untersuchungen wurden unternommen und durchgeführt in der Absicht, über die Schädigungen, die beim normalen Röntgenbetrieb auftreten können, Klarheit zu gewinnen. Wenn wir sagen „die Schädigungen beim normalen Röntgenbetrieb“, so wollen wir damit ausdrücken, daß wir von unseren Betrachtungen alle die Schädigungen ausschließen, die durch fehlerhafte Technik, durch Überdosierung, durch Materialschäden u. s. w. bedingt sind, daß wir vielmehr nur diejenigen Schädigungen einer Kritik zu unterziehen gedenken, die wir selbst beim besten Betrieb, so wie wir ihn heute als den besten bezeichnen, immer wieder finden. Vor allem aber

wollen wir auf die Schädigungen näher eingehen, welche durch die sogenannte Gasvergiftung hervorgerufen werden sollen.

Ein Schlagwort wie so viele in der modernen Röntgenliteratur ist zurzeit die „Gasvergiftung im Röntgenzimmer". Die erste Berücksichtigung der Möglichkeit einer schädlichen Wirkung der bei dem Betrieb von Röntgenapparaten entstehenden Luftveränderungen finden wir bei der Konstruktion des Symmetrieinduktors von Wintz und Baumeister (1), bei dem ja bekanntlich eine zur Röhre symmetrisch gelagerte Funkenstrecke zum Zweck der Spannungserhöhung im Moment des Stromdurchbruches und der Abdrosselung des Schließungsstromstoßes beständig in Betrieb ist. Es finden sich in der zitierten Publikation auch die Gründe angegeben, warum die Funkenstrecke eingeschlossen wurde. Die Einschließung geschah teils wegen des Geräusches und teils wegen der durch die Funkenstrecke hervorgerufenen Luftverunreinigung. Als hauptverunreinigendes Agens wird die salpetrige Säure namentlich angeführt. Allerdings wurde in dieser Arbeit nicht die Möglichkeit einer Vergiftung durch die gebildeten Gase ausdrücklich hervorgehoben. Dies geschah erst in dem Artikel von Reusch (2), der auch die Bezeichnung „Gasvergiftung" zuerst gebrauchte. Reusch glaubte die Ursache der „Gasvergiftung" in der sich bildenden salpetrigen Säure, der Salpetersäure und dem Stickstofftetroxyd gefunden zu haben. Er gibt jedoch in seiner Arbeit nur an, daß nach genauen chemischen Untersuchungen diese Stoffe als die eigentliche Ursache der Vergiftungen zu bezeichnen seien, verschweigt aber vollständig seine analytischen Methoden und die doch bei jeder auf Genauigkeit Anspruch machenden Untersuchung vorzunehmenden quantitativen Bestimmungen und deren Ergebnisse. Überhaupt hat es den Anschein, als ob der Artikel unter dem Eindruck des Paul schen Merkblattes „Über Gasvergiftungen durch Fliegerbomben" (3), herausgegeben nach dem Luftangriff auf M., entstanden sei. Reusch betrachtet ganz richtig die offene Funkenstrecke als die Hauptquelle der salpetrigen Säure u. s. w. und empfiehlt als Ersatz der offenen Funkenstrecke die in ein mit gewöhnlicher Luft gefülltes Glas eingeschlossene sogenannte gasdichte Funkenstrecke, und zwar verwendet er diese gasdichten Funkenstrecken allem Anschein nach nur als Vorschaltfunkenstrecken.

Kurze Zeit darauf erschien von Rieder (4) eine Arbeit: „Die Beseitigung nitroser Gase und überlauter Geräusche im Röntgenzimmer", worin in der Voraussetzung, daß auch in der Parallelfunkenstrecke eine Quelle der Luftverunreinigung zu suchen sei, eine Vorrichtung zur Abschließung der Funkenstrecke von der eigentlichen Röntgenzimmerluft und eine Absaugevorrichtung für die gebildeten nitrosen Gase beschrieben wird.

Hatten sich die bisher zitierten Autoren darauf beschränkt, einzelne schädliche Apparatenteile von der Röntgenzimmerluft abzuschließen, so geht Warnekros (5) einen Schritt weiter, indem er vorschlägt — er arbeitet in der Bummschen Klinik mit Hochspannungsgleichrichtern, die bekanntlich ohne Parallelfunkenstrecke betrieben werden —, jede offene Funkenstrecke dadurch auszuschließen, daß die ganze in einen Schrank eingebaute Hochspannungsmaschine durch einen fortwährend laufenden Zentrifugalventilator nach außen entlüftet wird.

Einen anderen Weg beschreitet Kohler (6), der die Hochspannungsmaschine ganz aus dem Behandlungszimmer entfernt und nur den Hochspannungsstrom durch sehr gut isolierte Hochspannungsleitungen in das Behandlungszimmer führt. Maschinenraum und Behandlungsraum sind also ganz voneinander getrennt, deshalb kann eine Luftverunreinigung durch die Hochspannungsmaschine nicht mehr stattfinden. Der Artikel von Kohler ist um so mehr beachtenswert, als die Trennung von Strombereitungsraum und Stromverbrauchsraum zweifellos die beste Sicherungsmethode darstellt. Auch sonst werden in der Arbeit sehr gute Sicherungsvorschriften gegeben, wenn man auch nicht alles, was der Verfasser vorschlägt, ohne Widerspruch annehmen kann. Es ist vielleicht gestattet schon hier gleich festzustellen, daß in der hiesigen Röntgenabteilung der Universitäts-Frauenklinik die Trennung des Maschinenraums vom Bestrahlungsraum schon lange vor der Publikation von Kohler praktisch durchgeführt worden war.

Auf ganz ähnliche Weise versucht auch Mathes (7) die den jetzt gebräuchlichen Apparaturen anhaftenden Fehler auszuschalten.

Während also bei all diesen Methoden angestrebt wird, die die Luft verunreinigenden Apparatenstellen, wie Funken-

ecken, Hochspannungsleitungen, von der eigentlichen Behand-
gszimmerluft abzuschließen, so geht Lorey (8) von der Ab-
ht aus, die entstandenen giftigen Gase durch Bindung an
kalien unschädlich zu machen. Er ist auch der einzige, der
Methoden, nach denen er seine Untersuchungen vorgenommen
, näher beschreibt.

Was von dieser Besorgnis vor der Vergiftung durch die beim
ntgenbetrieb entstandenen Gase, speziell durch die salpetrige
ure, Salpetersäure sowie die anderen nitrosen Gase, zu halten
. das wollen wir später klarlegen.

In der Besprechung der über die Röntgengasvergiftung er-
ienenen Literatur bleibt jetzt nur noch übrig, die Arbeit von
intz (9) zu erwähnen, die außer eigenen Versuchen auch solche
hält, die von mir gemeinsam mit Wintz angestellt wurden.

II. Die Röntgenbetriebserkrankung und die sogenannte Röntgengasvergiftung.

Der Ausdruck „Röntgengasvergiftung", der, nach den
blikationen zu schließen, eine ziemlich große Aufregung und
regung in die Röntgenforschung gebracht hat, wurde, wie schon
vähnt, zuerst von Reusch gebraucht. Er glaubte, daß
wohl die Patienten als auch die Ärzte, da beide der-
ben Luft ausgesetzt sind, an dieser „Röntgengasvergiftung"
kranken können. Andere Autoren haben dagegen angenommen,
ß nur die Erscheinungen, die man bei den Ärzten und ihrem
lfspersonal findet, durch die Gasvergiftung hervorgerufen seien.
t einem Wort, die Autoren sind sich nur darüber einig, daß
eine Röntgengasvergiftung gibt, nicht aber wer daran er-
anken kann.

Nun sind aber schon bei oberflächlicher Betrachtung die
scheinungen bei den Bestrahlten so verschieden von denen,
bei den Bestrahlern auftreten können, daß sich eine ver-
ichende Nebeneinanderstellung und Beschreibung der Krank-
tserscheinungen wohl als interessant erweisen wird. Wir
erscheiden also streng voneinander zwei Gruppen von Per-
nen, die beim Röntgenbetrieb erkranken können, das sind ein-
l die Patienten: die Bestrahlten und dann die Ärzte und
ren Hilfspersonal: die Bestrahler.

Während die eine dieser Gruppen, die zu bestrahlende nur ganz kurze Zeit, höchstens einige Stunden der „Röntge luft“ ausgesetzt ist, müssen sich die Angehörigen der andere Gruppe notwendigerweise monate- und jahrelang, zum Teil a gestrengt arbeitend, in derselben Luft aufhalten. Daß sch dadurch große Unterschiede bedingt sind, leuchtet ohne we teres ein.

Bevor wir nun daran gehen, die Symptome der sogenannte Röntgengasvergiftung bei den beiden Gruppen näher miteinand zu vergleichen, wollen wir ganz kurz die Erscheinungen bei d Vergiftung mit nitrosen Gasen, speziell mit der salpetrigen Säur beschreiben. Es sind dies die dem Säurecharakter und der Gasförmi keit entsprechenden Symptome, vor allem von Seiten des Orga systems, auf das die direkte Einwirkung erfolgt: die Lunge u ihre Kommunikation mit der Außenwelt, die Bronchien und d Kehlkopf. Man kann ja von vornherein nicht erwarten, daß b den für die Röntgengasvergiftung in Frage kommenden klein Mengen von nitrosen Gasen solch plötzliche und schwere E scheinungen auftreten, wie sie von J. Zadek (10) geschilde werden und auch in dem Paulschen Merkblatt verzeichnet sin niemand aber wird bezweifeln, daß selbst bei sehr verdünnt Einatmung die Wirkung auf das Lungensystem wenn nic obenan stehen, so doch bemerkbar sein muß. Es ist ausgeschlosse daß die schweren Symptome, die man manchmal bei den B strahlern und bei den Bestrahlten findet, durch die Gasve giftung oder Gaseinwirkung hervorgerufen werden, ohne d man von Lungenerscheinungen auch nur eine Spur nachweisen kan

Und nun zu den Krankheitssymptomen bei Bestrahlten u Bestrahlern selbst! Am einfachsten wird es sein, wenn w die Symptome nebeneinander stellen und so miteinander ve gleichen.

Tabelle I.

Symptome v. Seiten	Bestrahler	Bestrahlte
1. des Magens und Darms	keine oder keine spezifischen	häufig Erbrechen, länger dauernde Appetitlosigk bei einigen Patienten a Darmreizungen.

Symptome v. Seiten	Bestrahler	Bestrahlte
2. des Blutes und der blutbildenden Organe	sehr häufig Eosinophilie, manchmal auch sonstige leichte, selten schwere Änderungen der Blutzusammensetzung.	kurzdauernde Störungen (Leukopenie, ev. nach vorheriger Leukozytose, Zerstörung von roten Blutkörperchen, rasche spontane Regeneration).
3. der Haut und der Haare	Haarausfall und auch Hautveränderungen. Schuppung, bezw. Turgorstörungen auch ohne Einwirkung direkten Röntgenlichtes, ohne Durchleuchtungseinwirkung.	mit Ausnahme der direkt bestrahlten Stellen, an denen bekanntlich die Haare ausgehen, noch nicht beobachtet.
4. der Lungen und Bronchien sowie des Kehlkopfes	wurden weder von uns noch von anderen beobachtet.	wurden weder von uns noch von anderen beobachtet.
5. Allgemeinbefinden	zuerst wenig gestört, bei fortwährender Beschäftigung im Röntgenzimmer sich allmählich steigernde Störungen: Schlechtes Befinden, Arbeitsunlust, Reizbarkeit, Müdigkeit. Erschöpfungserscheinungen.	zuerst infolge der Übelkeit und der Darmerscheinungen erheblich gestört, wobei aber die Erscheinungen rasch zurückgehen, rasche Erholung bei sonst Gesunden, z. B. bei klimakterischen Blutungen.
Psychisches Befinden	Zuerst ungestört, ja sogar manchmal vielleicht etwas besser als vorher, später Gedächtnisschwäche, Abstumpfung, Arbeitsunlust, Verstimmung.	Unter der Einwirkung der Aufregung, durch die ungewohnte Umgebung, durch die in Betrieb befindlichen Apparate Aufregungs- oder Depressionszustände je nach Anlage und Empfindlichkeit.
6. Kopfschmerzen	Kopfschmerzen wurden von uns ebenso wie geringe Übelkeit am Anfang der röntgenologischen Tätigkeit beobachtet, später treten bisweilen häufiger als vorher Schmerzen besonders im Vorderkopf auf.	Manchmal kurz nach der Bestrahlung auftretend sehr starke, aber rasch wieder verschwindende Kopfschmerzen besonders im Hinterkopf.

	Bestrahler	Bestrahlte
7. Geschmacksempfindungen u. Geruchsbelästigung	Über den üblen Geruch im nicht ventilierten Röntgenzimmer wird viel geklagt, doch scheint manchmal eine Gewöhnung stattzufinden.	Ebenfalls dieselben Beschwerden; Pat. klagen sehr häufig über metallisch bitteren Geschmack, Bleigeschmack, auch über Geruchsbelästigung bezw. Geruchsstörungen, wie bei Katarrh.

Vergleichen wir die zusammengehörigen Rubriken dieser kurzen Zusammenstellung, so zeigt sich uns eine so weitgehende Verschiedenheit der Symptome in bezug auf ihre Stärke, Dauer u. s. w., daß wir genötigt sind zu ihrer Erklärung verschiedene Ursachen anzunehmen und, wenn möglich, nachzuweisen, und dies kann man bei der hier skizzierten Erkrankung sehr leicht. Nie aber, das wollen wir vorwegnehmen, kommen wir bei diesen Erklärungsversuchen dazu, eine Gasvergiftung mit nitrosen Gasen als die Ursache der Krankheitserscheinungen bezeichnen zu müssen.

Wir wollen jetzt die einzelnen Erscheinungen einer eingehenden Kritik unterwerfen, und zwar wollen wir dabei nach der Reihe alle Symptome bei den Bestrahlern und bei den Bestrahlten vergleichend in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen.

1. Magen-Darmerscheinungen.

Da finden wir in unserer Tabelle zuerst bei den Bestrahlten das Erbrechen, die Übelkeit, überhaupt die Darmtraktuserscheinungen. Wie haben wir uns nun diese Erscheinungen zu erklären? An welches Bild erinnern uns sie am meisten? Doch ohne Zweifel an die Erscheinungen einer akuten Vergiftung. Diese Giftstoffe sind unserer allerdings nicht sicher zu beweisenden Meinung nach die bei der Bestrahlung entstehenden Eiweiß- und vielleicht auch andere chemische Körper, — wir haben da vor allem an die Lipoidstoffe zu denken — und dann besonders an die bei der oft sehr starken Zerstörung der Blutkörperchen frei gemachten, doch in gewisser Hinsicht blutfremden Eiweiß- und

poidkörper der zelligen Blutelemente selbst. Wir machen uns mer eine zu geringe Vorstellung von der Arbeitsleistung, die wir m Körper in chemischer Hinsicht durch die Bestrahlung auf-rden. Hier eine kleine Überschlagsrechnung: Nach der Me-ode von Gréhant und Quinquaud wurde die mittlere Blut-enge eines erwachsenen großen Menschen von Haldane zu $^1/_2$ % des Gesamtkörpergewichtes, d. h. zu annähernd $4^1/_2$ Liter stimmt. In 1 cmm Blut nun sind beim Gesunden ungefähr eichbleibend 5000000 rote und 8000 weiße Blutkörperchen thalten, auf die ganze Blutmenge umgerechnet: in $4^1/_2$ Liter id enthalten:

22500000000000 rote Blutkörperchen und
36000000000 weiße Blutkörperchen.

Das mit Hilfe des Hämatokrits bestimmte Volumen dieser Blut-rperchen würde, aus diesem Ergebnis berechnet, 36 % des Gesamt-ites, d. h. 1250 ccm betragen. Da nun die Trockensubstanz der enschlichen Blutkörperchen 30 % beträgt, so wären insgesamt einem erwachsenen Menschen 436 g trockene Blutkörperchen rhanden. Aus den Publikationen über die Veränderungen der utkörperchenzahl bei der Bestrahlung wissen wir, daß hierbei mer eine große Zahl von weißen und auch von roten Blut-rperchen zugrunde geht. Um eine Zahl aus unseren eigenen eobachtungen zu nehmen; bei einer Tiefenbestrahlung (Kastration gen klimakterischer Blutungen) fanden wir nach 2 Tagen nen Abfall der roten Blutkörperchen von 4590000 auf 4300000 d der weißen Blutkörperchen von 5200 auf 3200. Auf die samte Blutmenge nach obigen Zahlen umgerechnet, sank die esamtzahl der roten Blutkörperchen von

20655000000000 auf
19350000000000, d. h. um 1305000000000,

ie Blutkörperchenmenge, die 284 ccm des ursprünglichen Blutes tspricht. Berechnen wir die Blutmenge, die der zerstörten enge weißer Blutkörperchen entspricht, so kommen wir zu gendem

Anfangsgehalt: 23400000000
Endgehalt n. 2 Tagen: 14400000000

Verlust in 2 Tagen: 9000000000 weiße Blutkörperchen, 1731 ccm des ursprünglichen Blutes entsprechen, d. h. die npfindlichkeit der weißen Blutkörperchen gegen die

Röntgenstrahlen ist in diesem Fall mehrfach so gro gewesen wie die der roten Blutkörperchen.

Diese wenigen Zahlen geben eine ungefähre Vorstellun von der enormen Arbeitsleistung, die wir dem Körper mit de Bestrahlung, besonders mit der Tiefenbestrahlung zumute Denn nicht nur muß der Körper die Zerstörungsprodukte de Blutkörperchen in der kurzen Zeit von 2 Tagen beiseite schaffe sondern er muß auch, wie es ja tatsächlich der Fall ist, di Kraft besitzen, diese Blutkörperchenmengen in 5—6 Tagen z ersetzen; denn nach Verlauf dieser Zeit finden wir wieder di ursprüngliche Zahl von Blutkörperchen im Blute des Be strahlten.

Was können wir nun aus diesen Zahlen für unser Sympto entnehmen? Wir sehen eine äußerst lebhafte zerstörende un auch synthetische Tätigkeit. Wir sehen, daß enorme Mengen vo in gewissem Sinn doch blutfremden Stoffen entstehen, die siche gewisse toxische Eigenschaften dem Körper gegenüber besitzen und deren Unschädlichmachung zweifellos einen großen Energie verbrauch darstellt. Und diese Produkte bedingen nac unserer Meinung einen wesentlichen Teil der toxischen Erschei nungen, die die Erkrankung der Bestrahlten charakterisier Nicht wollen wir damit sagen, daß daneben nicht auch noc andere Produkte an der Entstehung der Übelkeit u. s. w. mi beteiligt sind. Im Gegenteil, es erscheint uns ganz sicher, daß noc andere Giftstoffe, die jedoch außerhalb des Blutes im Körper — wi denken da vor allem an die Drüsen mit und ohne Ausführungs gang — entstehen, mit die Ursache dieser Symptome bilden, abe leider haben wir für diese bis heute noch kein klares Erkennungs zeichen. Die Existenz dieser hypothetischen Giftstoffe wird wie aus der Mitteilung von Schmidt (46) ersichtlich ist, auch von anderen Beobachtern zur Erklärung herbeigezogen. Schmid nimmt z. B. an, daß der „Röntgenkater“ dadurch zustand komme, daß die Strahlen auf den Magen-Darmtraktus einwirken und führt zum Beweis auch 4 von ihm beobachtete Fälle an. Wie wir in der hiesigen Klinik aber einwandfrei beobachtet konnten, tritt der „Röntgenkater“ auch dann auf, wenn infolg der Lokalisation der bestrahlten Stelle eine Mitbestrahlung de Magendarmkanals ausgeschlossen, aber eine große Strahlenmeng durch den Körper geschickt worden war. Wir sind ja eben

s der Ansicht, daß der Füllungszustand und die Erregbar-
t des Darmes beim Auftreten und der Stärke der Erschei-
ıgen des „Röntgenkaters“ von Einfluß sind, da wir seit der
t, wo wir die Bestrahlungspatienten durch Entleerung des
rmes — durch Einläufe und durch Nüchternlassen vor der
strahlung — vorbereiten, doch seltener so starke Beschwerden
ıen wie früher. Doch glauben wir, daß wir damit den Pa-
ıten nur eine mechanische Erleichterung bringen, da wir ja
das fernhalten, was beim Brechen entleert wird. Zu der
nahme, daß es sich um eine reine Einwirkung der Strahlen
den Magen-Darmtraktus handelt, können wir uns nicht
schließen. Aufgefallen ist uns bei der Beobachtung unserer
tienten immer wieder, daß vor allem dann, wenn das Blut-
l nach der Bestrahlung stärker verändert war, auch die Be-
werden größer gewesen waren. Der einzige Einwand, der
ɡen die Ansicht, daß es sich um eine allgemeine Wirkung
Strahlen auf den Körper und besonders auf das Blut handelt,
oben werden könnte, ist der, daß die Erscheinungen der
elkeit und des Erbrechens schon mehrere Stunden früher
treten, bevor sich die ersten Zeichen der Blutveränderung
finden lassen. Aber auch dieser Einwand ist nicht berech-
t. Es ist ja richtig, daß die Blutveränderungen erst einige
t nach Beginn der Bestrahlung und manchmal erst nach
ıluß derselben nachgewiesen werden können, aber was wir
en ist ja bloß der Endzustand der ganzen Blutschädigung.
r beobachten nur, daß die Blutkörperchen zuerst ausge-
wemmt werden, um dann zu verschwinden, oder aber bei
ı größeren Dosen gleich verschwinden, nicht aber können
erkennen, wann die feine biologische Schädigung der Blut-
len beziehungsweise ihrer Bildungsstätten eingetreten ist,
dieser Resorption vorangegangen sein muß. Daß der nicht
leugnende leichtere Eintritt der akuten Darmtraktuser-
einungen, wie es das Erbrechen und die Übelkeit sind, bei
ıchbestrahlten auch mit der mechanischen Kompression des
terleibs bei der Tubenbestrahlung und vor allem damit zu-
ımenzuhängen scheint, daß wir bei unseren Unterleibsbe-
ıhlungen oft die Milz, immer aber die großen Blutgefäße
ffen und somit sehr energisch auf das Blut einwirken,
llen wir nur erwähnen. Welche Produkte wir aber auch

immer für den Eintritt des „Röntgenkaters“ verantwortlich machen, fest steht jedenfalls, daß diese Erscheinungen nicht durch Gasvergiftung hervorgerufen werden, denn sonst müßten wir sie auch bei dem Röntgenpersonal finden, das ja ebenso wie die Bestrahlten und sogar viel längere Zeit dieselbe Luft einatmen muß. Daß wir solche Erscheinungen beim Personal nicht beobachten, ist auch in der Tabelle verzeichnet.

Wir können die Gelegenheit gleich benutzen, hier noch eine Beobachtung anzufügen, die man in jedem größeren Röntgenbetrieb täglich machen kann, und die sicher auch an anderen Instituten gemacht worden ist, nämlich die, daß die Schnelligkeit, mit der die Übelkeit u. s. w. auftritt, nicht nur, wie es Krinsky beobachtet hat, von der Größe der verabreichten Dosis Strahlen, sondern auch von der Erregbarkeit des Patienten und von seinem guten oder schlechten Willen abhängt. Wir haben oft beobachtet, daß nervöse und empfindliche Personen schon nach Verabreichung einer Dosis, die $^1/_5$ der Ca-Dosis[1] entspricht, über immer größer werdende Übelkeit und Brechreiz klagen, also lange, bevor die von Krinsky angeführte Dosis von 400 X erreicht ist. Folgender Fall ist in dieser Beziehung besonders interessant. Ein Fräulein B. sollte wegen sehr starker Menorrhagien bestrahlt werden. Sie erhielt, da sie sehr ängstlich war, zuerst nur 1 Feld à 30 Minuten. Nach Verabreichung dieses Feldes fühlte sich Patientin ganz wohl; und so auch am nächsten Tage. Am 3. Tage nach der Bestrahlung, als ihr wieder ein Feld verabreicht werden sollte, fragten wir sie, ob sie nicht auch die Luft des Röntgenzimmers belästige; prompt bekam sie darauf infolge des „schlechten Geruches“ große Übelkeit, die so stark war, daß 2 Tage mit der Bestrahlung ausgesetzt werden mußte. Nach Verlauf dieser Zeit ließ sie sich dazu überreden, sich doch noch ein Feld geben zu lassen. Um uns zu überzeugen, ob bei ihr wirklich eine so starke Empfindlichkeit gegen die damals noch so gefürchtete Röntgenluft vorhanden sei, führten wir sie in unseren neu eingerichteten Diagnostikraum, der seit 2 Tagen nicht benützt und während dieser Zeit beständig gelüftet worden war. Die Luftprobe, die wir auf salpetrige Säure sogleich untersuchten, gab

[1]) Seitz u. Wintz. Münchn. med. Wschr. 1918, Nr. 4, S. 89—92.

nach unserer unten geschilderten Methode geprüft, überhaupt keine Reaktion, enthielt also höchstenfalls eine Menge von N_2O_3, die sicher kleiner als 0,05 mgr. in 1 cbm Luft war. Sofort beim Eintritt bekam Patientin Atemnot und Brechreiz, die so stark wurden, daß wir von einer Bestrahlung an diesem Tage überhaupt absehen mußten. Zugegeben, daß es sich da um eine sehr hysterische Patientin handelt, so zeigt uns dieser Fall, besonders weil er gar nicht vereinzelt dasteht, daß man auch mit psychischen Einflüssen bei der Beurteilung des Übelkeits- und Brechsymptoms rechnen muß.

2. Blutveränderungen.

Über die Blutveränderungen nach Bestrahlungen, speziell über das Verhalten des Blutbildes, wird das Buch von Seitz und Wintz, das demnächst erscheinen wird, ausführliches bringen, so daß wir uns hier ganz kurz fassen können. Auch in dieser Beziehung verhalten sich die beiden Gruppen verschieden. Zuerst die Bestrahlten. Wir finden bei genügend starker Einwirkung des Röntgenlichtes auf das Blut beziehungsweise auf die blutbildenden Organe einen deutlichen Einfluß auf die Menge der in dem Blut enthaltenen Blutkörperchen. Fast immer sehen wir, daß bei geringer Dosis Röntgenlicht eine Einwirkung im Sinne einer Ausschwemmung der Blutkörperchen, vor allem der weißen, stattfindet; bei größerer Dosis tritt eine Leukopenie als Ausdruck der Schädigung des Blutes beziehungsweise der blutbildenden Organe auf. Die roten Blutkörperchen antworten bei den jetzt gebräuchlichen Dosen fast immer mit einer Abnahme. Die Regeneration erfolgt bei den weißen Blutkörperchen rasch und ist nach 5—6 Tagen vollständig abgeschlossen. Fast ebenso rasch finden wir sie bei den roten. Von dieser in kurzer Zeit erfolgenden Regeneration finden wir nichts bei Patienten, bei denen eine Erkrankung der blutbildenden Organe besteht, oder die schon vorher ein abnormes Blutbild gezeigt haben. Den schlagendsten Beweis aber dafür, daß diese Blutveränderungen durch die Bestrahlung selbst und nicht, wie schon angenommen worden ist, durch die Einwirkung der nitrosen Gase hervorgerufen wird, besitzen wir in der sicheren Beobachtung, daß dieselben Blutveränderungen oder doch wenigstens sehr ähnliche experimentell bei Tieren durch

die Bestrahlung mit Radium hervorgerufen werden können. Dadurch schließen wir ja die Entstehung der nitrosen Gase und somit auch die Möglichkeit ihrer Einwirkung auf den Organismus vollständig aus.

Nicht ganz so leicht wie bei den Bestrahlten läßt sich für die Blutveränderungen bei den Bestrahlern der Zusammenhang mit der Strahleneinwirkung und die Nichtbeteiligung der nitrosen Gase beweisen. Es wäre, um alles in Betracht zu ziehen, theoretisch nicht ganz unmöglich, daß bei der chronischen Einwirkung der nitrosen Gase sich die Blutveränderungen ausbilden könnten, wie wir sie bei den Bestrahlern manchmal finden, und wie sie in der tabellarischen Übersicht angeführt sind. Aber auch hier kann man die Blutveränderungen durch chronische Einwirkungen kleiner Mengen von Radium nachahmen, was ein gewisser Beweis dafür ist, daß auch ohne die Einwirkung der nitrosen Gase solche Blutveränderungen entstehen können. Ferner haben wir noch einen Beweis in dem klinischen Verhalten des Gefäßsystems. Zadek (10) berichtet über einen Fall von Massenvergiftung mit Salpetrigsäuredämpfen (Nitrointoxikation) und gibt als Zeichen der Erkrankung an: 1. örtliche Reizung der getroffenen Schleimhäute, 2. lähmende Wirkungen auf das Gefäßsystem, Gefäßerweiterungen, Herabsetzung des Blutdruckes, 3. Umwandlung des Oxyhämoglobins in Methämoglobin. Wir finden aber in allen Publikationen über die Blutveränderungen bei den Bestrahlten nie die Auffindung von Methämoglobin erwähnt, auch haben wir bei unseren Untersuchungen nie Methämoglobin spektroskopisch im Blut nachweisen können. Auch der Blutdruck wurde bei den Bestrahlern nie vermindert gefunden. Zum Schluß noch einen Analogiebeweis, der uns berechtigt, die Einwirkung der nitrosen Gase auf das Blut auch bei chronischer Wirkungsgelegenheit abzulehnen. Wie wir im praktischen Teil ausführen werden, haben wir aus der Erwägung heraus, daß bei den in chemischen Laboratorien tätigen Personen, wenn sie mit Salpetersäure, salpetriger Säure u. s. w. arbeiten, auch diese Blutveränderungen eintreten müßten, zuerst die Luft, in der diese Personen arbeiten, auf ihren Gehalt an salpetriger Säure untersucht und dabei Werte gefunden, die das Vielfache des Gehaltes der Röntgenzimmerluft an salpetriger Säure ausmachen. Und trotzdem ist die Blutzusammen-

setzung bei diesen Personen immer innerhalb der normalen Schwankungen geblieben. Wir glauben deshalb berechtigt zu sein, die Einwirkung der nitrosen Gase, wenigstens in der Menge, wie sie im Röntgenzimmer in Betracht kommt, auf das Blut abzulehnen. Ein normaler Organismus muß imstande sein, so kleine schädliche Einwirkungen zu paralysieren, und ist es auch, das sehen wir an der schnellen Regeneration des Blutes bei den Bestrahlten. Um nun aber dem Vorwurf zu entgehen, daß wir die ganze Frage zu einseitig betrachtet hätten, haben wir auch die Einwirkung des Ozons auf das Blutbild gelegentlich einer Arbeit über Ozonverbindungen untersucht. Leider standen uns zu der Untersuchung nur 4 Versuchspersonen zur Verfügung (darunter der Verf. selbst); aber auch bei diesen Personen fanden wir, trotzdem wir mit sehr großen Ozonmengen in nur ungenügend ventilierten Räumen arbeiten mußten, abgesehen von einer leichten Vermehrung der roten Blutkörperchen, keine irgendwie charakteristischen Blutveränderungen.

Nicht vergessen wollen wir hier auf die doch recht gebräuchlichen therapeutischen Anwendungen der salpetrigen Säure bezw. ihrer Salze und Ester hinzuweisen. (Natriumnitrit bis 1.0 g pro die, Amylnitrit).

Wodurch werden nun aber die doch unbestritten im Röntgenbetrieb auftretenden Blutveränderungen hervorgerufen? Wir möchten da vor allem zwei Ursachen nennen, das sind einmal die Röntgenstrahlen, die trotz aller Schutzvorrichtungen doch immer auf die Bestrahler einwirken, und dann die schlechten hygienischen Verhältnisse, unter denen die Röntgenärzte und das Röntgenpersonal meistens arbeiten. Es ist hier nicht der Platz, auf diesen wunden Punkt im Röntgenbetrieb näher einzugehen, das ist, wenn auch lange nicht eindringlich genug, schon von verschiedenen Seiten geschehen (11); aber wir wollen doch daran denken, daß wir es für selbstverständlich und erklärlich halten, daß z. B. eine Kontoristin, die auch den ganzen Tag im Zimmer verweilen muß, blutarm und anämisch wird, daß wir aber bei der Röntgenassistentin, wenn sie anämisch wird, sofort dem Röntgenbetrieb die Schuld geben. Es ist ja sicher, daß die Beschäftigung im Röntgenzimmer ungesünder ist als z. B. die Arbeit im Kontor, aber man gebe nur dem Personal die Möglichkeit sich auszuruhen, die Möglichkeit wenigstens

ein paarmal in der Woche in die frische Luft zu gehen, und man wird sehen, daß auch selbst bei gleich intensivem Arbeitsbetrieb und bei gleicher Arbeitsleistung das Befinden besser wird.

Weiter wollen wir, da es unser spezielles Thema nicht erfordert, auf die Blutveränderungen nicht eingehen.

3. Haut und Haare.

Im weiteren Verlauf unserer Besprechungen der Krankheitssymptome kommen wir jetzt zu den Erscheinungen, die man nur bei den Bestrahlern auftreten sieht, zu den chronischen Epithelschädigungen und zu den Schädigungen, die die Anhangsgebilde des Epithels erfahren. Ausschließen wollen wir also ausdrücklich alle Schädigungen, die durch fehlerhafte Technik oder Dosierung hervorgerufen werden, ferner solche, die durch direkte Einwirkung den Röntgenstrahlen auf die Bestrahler, so z. B. bei Durchleuchtungen, entstehen.

Die Erscheinungen, die wir finden, sind entsprechend dem besseren Schutz, den der Tiefentherapeut gegenüber dem Röntgendiagnostiker sich verschaffen kann, nicht sehr schwer. Wir finden keine so sinnfälligen Röntgenulcera und deren relativ häufige Folge, das Karzinom, aber wir bemerken doch auch einen deutlich schädlichen Einfluß auf die Haut. Das erste, worüber das Röntgenpersonal zu klagen hat, ist der oft abnorme und überaus starke Haarausfall, ohne daß ein genügender Ersatz stattfände. Das Haar wird spröde, und manchmal hat es den Anschein, als ob eine Änderung des Farbentons einträte. Ferner zeigt auch die Haut deutliche Veränderungen, wenn die schädigende Noxe weiter auf die Person einwirkt. Die Haut wird auffallend spröde, und auch der Turgor scheint abzunehmen. Entsprechend ihrer schwächeren Ausbildung und der schwierigen Messungsmöglichkeit sind diese reinen Hauterscheinungen aber nie so auffallend als das Symptom des Haarausfalles. Gute Pflege der Kopfhaut und der Haare sowie gute Pflege der übrigen Körperhaut (häufigeres Einsalben) sind im Interesse der Erhaltung der Haare und einer glatten geschmeidigen Haut sehr zu empfehlen.

Daß der kurze Aufenthalt der Bestrahlten nicht genügt, um so chronische Erscheinungen hervorzubringen, ist ebenso

cher wie die Tatsache, daß diese eben geschilderten Erscheinungen nicht durch die Einwirkung der nitrosen Gase hervorrufen werden, da wir sie bei der Untersuchung der in Laboratorien tätigen Personen vollständig vermissen.

4. Lungenerscheinungen.

Wie wir schon aus der Tabelle entnehmen können, und e wir bereits oben sagten, ist es uns, trotzdem wir darauf besonders unser Augenmerk richteten, nicht möglich gewesen, eder bei Bestrahlten noch bei Bestrahlern Erscheinungen von ten der Lunge oder der Bronchien oder des Kehlkopfes auffinden. Es ist dieses Fehlen jeder Kehlkopf-Lungenerscheinungen einer der Beweise, die wir gegen die Annahme der öglichkeit einer Gasvergiftung mit salpetriger Säure aufstellt haben.

Nicht in der Tabelle aufgeführt, weil bei den ausschließhen Röntgentherapeuten noch nicht untersucht, haben wir e Erscheinungen, die Wiesner (12) bei sich und bei einigen deren Röntgendiagnostikern und Röntgentechnikern feststellen nte, die frühzeitige Verknöcherung der Rippenknorpel, die den ersten Rippenknorpeln beginnt und dann auf die zweiten d so weiter fortschreitet.

5. Allgemeines und psychisches Befinden.

Viel ausgesprochener als die Erscheinungen an der Haut d die Störungen des Allgemeinbefindens, und zwar finden h da wieder ausgesprochene Unterschiede zwischen den Bestrahlern und den Bestrahlten sowohl in bezug auf die Stärke auch in bezug auf die Dauer der Beschwerden. Bei großen Mehrzahl der Bestrahlten beginnt die Störung des gemeinbefindens schon kurze Zeit nach Beginn der Bestrahg. Zuerst ist es ein leises Gefühl des Unbehagens, das verschieden schnell immer mehr steigert, um in Übelt überzugehen. Fast alle Patienten klagen über eine große ttigkeit und das Gefühl hilfloser Verlassenheit, das sich zur vollständigen Apathie steigern kann. Viele Patienten en auf die Frage, was sie sonst noch dabei empfunden hätten, daß sie das Gefühl vollständiger Gleichgültigkeit immer rker gepackt habe, so sehr sie sich auch dagegen gewehrt

hätten, und daß sie nur den einen Wunsch gehabt hätten, „da
die ganze Geschichte bald vorüber wäre". Personen, die darübe
schon Erfahrungen gemacht hatten, bezeichnen das Gefühl als de
bei der Seekrankheit vorhandenem sehr ähnlich. Aber sehr bal
schon, wenige Stunden nach dem Schluß der Bestrahlung, weiche
diese Gefühle denen des normalen Befindens, und nicht zu selte
hört man von den Patienten den Selbstvorwurf, daß sie sic
so sehr haben gehen lassen. Und mit dem festen Vorsatz, sic
bei der nächsten Bestrahlung nicht mehr unterkriegen zu lasse
legen sie sich das nächste Mal auf den Bestrahlungstisch, u
dieselben Erscheinungen durchzumachen. Nur in wenigen Fälle
haben wir eine gewisse Gewöhnung an die Bestrahlung, z. B. b
Karzinomträgern, gefunden, eine Gewöhnung nicht in dem Sin
einer Immunisierung, sondern im Sinne einer Anpassung. Nich
trennen von der Beschreibung der rein körperlichen Symptom
wie Mattigkeit u. s. w. lassen sich, wie wir es eben sahen, di
mehr psychischen Symptome. Auch hier finden wir, daß natü
lich genau wie bei den körperlichen Symptomen — eine sehr he
untergekommene Person wird selbstverständlich leichter ve
fallen wie eine sonst völlig gesunde — eine gewisse Abhängig
keit von der Veranlagung, vom Naturell besteht. Eine manisch ve
anlagte Persönlichkeit wird mehr zu Aufregungszuständen neige
eine melancholisch veranlagte mehr zu Depressivzustände
Immer aber ist die Stärke der Erscheinungen auch von d
Willenskraft des Patienten abhängig, wie wir schon oben e
wähnt haben.

Kurz zusammengefaßt finden wir also bei den Bestrahlte
raschen Eintritt schwerer Störungen des allgemeinen und d
psychischen Befindens, verhältnismäßig rasches Verschwind
aller Symptome, vollständige Wiederherstellung in ganz kurz
Zeit.

Die Erklärungen für diese Störungen haben wir sch
zum Teil bei der Besprechung der Ätiologie der Magen-Dar
erscheinungen dargelegt, so daß wir sie hier nur noch ku
streifen wollen. Wir haben gesehen, daß der rapide Eiwei
und Blutkörperchenzerfall vergiftungsähnliche Erscheinung
hervorruft, wir wissen, daß alle Toxikosen und Intoxikation
sehr stark auf die Nerven und deren Zentren einwirken; w
haben ferner gesehen, daß der baldige Eintritt und die Schwe

r Erscheinungen auch von der Willensstärke und der Nerven-
aft des Patienten abhängig ist, so daß uns nur noch übrig
eibt, zu zeigen, daß auch die abnorme eingepreßte Lagerung
s Patienten auf dessen Widerstandsfähigkeit von hohem Ein-
ß ist. Man muß schon sagen, die Bestrahlung, wie sie heute
rchgeführt wird, stellt auch an die körperliche Kraft des
tienten große Anforderungen. Eingespannt zwischen Be-
rahlungstisch und Kompressionsstativ, in einer ganz unge-
ohnten Haltung auf dem Bauche liegend, ist der Patient ge-
vungen halbstundenlang, ohne eine Bewegung machen zu
nnen, auszuharren. Wie groß der Einfluß der Lagerung auf
s Allgemeinbefinden ist, zeigt die Tatsache, daß selbst von
hwächlichen Leuten die vielfache Anzahl von Bestrahlungs-
ldern gut vertragen wird, wenn sie sich bei günstiger Lage
r zu bestrahlenden Körperstelle etwas mehr rühren konnten,
s von sonst gesunden, wenn sie eine für sie sehr unbequeme
altung einnehmen mußten. Daß auch das zu bestrahlende
bjekt selbst, sei dies ein Tumor oder ein irgendwie erkranktes
rgan, und die oft unvermeidliche Mitbestrahlung der benach-
rten Gewebe und Organe durch die Entstehung von Reiz-
ler Zerfallsprodukten von weitgehendem Einfluß sein können,
ird niemand bezweifeln. Nur fehlen uns leider noch heute
e Mittel und Methoden, diese Reiz- oder Zerfallsprodukte
emisch oder chemobiologisch nachzuweisen. Ausdrücklich
ollen wir in diesem Zusammenhang noch einmal hervorheben,
ß ja wohl die Bestrahlung, wie man sie heute bei einem
arzinom durchführen muß, gewisse körperliche Leistungen
n den Patienten verlangt, immer aber müssen wir uns vor
ugen halten, wie kurz die Beschwerden doch im Vergleich
denen bei und nach der Operation sind, ferner, daß man
ute schon imstande ist durch richtige Verteilung der Felder,
echsel u. s. w. den Patienten das Durchhalten zu erleichtern.
or allem aber dürfen wir nicht vergessen, daß man bei einem
eiden, dem so schwer beizukommen ist wie dem Karzinom,
ch etwas von den Patienten verlangen muß, falls man etwas
reichen will. Darüber müssen sich vor allem auch die Pa-
nten klar werden, und diese Aufklärung können sie nur von
iten solcher Ärzte bekommen, die die Schwierigkeiten der
ekämpfung kennen.

Um nunmehr die Erscheinungen bei den Bestrahlern richtig beurteilen zu können, müssen wir uns klar werden, welche Unterschiede diese gegenüber den Bestrahlten aufweisen. Unsere Tabelle zeigt uns da vor allem, daß alle Erscheinungen des psychischen wie des allgemeinen Befindens nur sehr langsam und allmählich eintreten, daß sie aber dafür auch viel länger bestehen bleiben. Sehr ausgeprägt und stark sind vor allem die Erscheinungen der Verstimmung und der leichteren Ermüdung; aber so deutlich auch alle diese Erscheinungen auftreten, so schwer läßt sich ein direkter Zusammenhang mit der röntgenologischen Tätigkeit beweisen. Man kann ja auch daran denken, daß der Grund dieser Veränderungen der Persönlichkeit darin liegt, daß alle diese Leute ans Zimmer gebannt sind und eine einesteils sehr anstrengende, andernteils aber ziemlich einseitige Arbeit verrichten. Damit steht auch im Zusammenhang, daß, so lange die ganze Beschäftigung neu ist, also beim Beginn der röntgenologischen Tätigkeit, so lange also das Interesse noch rege ist, die Erscheinungen nicht vorhanden sind. Dieser auf bloße Abstumpfung des Interesses sich stützenden Deutung der seelischen Umstimmung steht die Tatsache gegenüber, daß wir auch bei Technikern und Ingenieuren, die doch sicher viele Anregungen empfangen und auch geben müssen, die gleichen Erscheinungen finden, sobald sie sich länger mit Tiefentherapie beschäftigt haben. Jedenfalls aber ist auch die Erkenntnis dieser Erscheinungen, ganz abgesehen von den Veränderungen die wir in der Blutzusammensetzung sahen, eine weitere dringende Mahnung, dem röntgenologischen Personal, seien es Ärzte oder Hilfspersonen, sehr gute hygienische Arbeitsbedingungen zu geben und alle nur möglichen dienstlichen Erleichterungen zu verschaffen. Bei der Zusammenfassung aller der Maßnahmen die wir bei einem guten röntgenologischen Betrieb treffen müssen kommen wir auf diesen Punkt noch einmal zurück.

6. Kopfschmerzen.

Noch viel schwerer als der Nachweis einer Beeinflussung des psychischen Befindens durch die Beschäftigung mit therapeutischen Röntgenbestrahlungen ist der Nachweis eines fast in allen Publikationen genannten Zusammenhangs eines so vieldeutigen Symptoms, wie es der Kopfschmerz ist, mit der

röntgenologischen Tätigkeit. Obwohl der Kopfschmerz in jeder einschlägigen Publikation als eines der Hauptsymtome der im Röntgenbetrieb auftretenden Gesundheitsstörungen erwähnt wird, so fehlen in der Literatur doch genauere kritische Angaben über dieses Symptom, so daß wir bei seiner Beurteilung auf unsere eigenen Beobachtungen angewiesen sind. So viel ist ja sicher, daß bei manchen Personen, die sich der Tiefentherapie widmen, mit der Zeit sich häufiger Kopfschmerzen einstellen als früher, aber läßt sich daraus schon eine Einwirkung des Röntgenbetriebs einwandsfrei beweisen? Die Kopfschmerzen sind ein so vieldeutiges Symptom, die Schädlichkeiten, die auf den Röntgentherapeuten beim Betrieb einwirken, so viele, daß es nicht möglich ist, eine Noxe als die am meisten schädliche zu bezeichnen. Einige dieser Schädlichkeiten wollen wir hier nennen. Da sind zweifellos sehr wirksam die chronischen Bestrahlungen, denen sich die Leute aussetzen. Es ist ja doch heute so, daß unsere Schutzvorrichtungen in dieser Hinsicht ungenügend sind, da auch die gebräuchlichen Bleiwände von den Strahlen passiert werden; jedoch wissen wir zurzeit von den anatomischen und physiologischen Veränderungen des Nervensystems unter der chronischen Einwirkung der Röntgenstrahlen nichts. Nicht viel besser sind unsere Kenntnisse über den schädlichen Einfluß der Aufladungen, die der Körper durch die fortwährende Bestrahlung erfährt, und doch müssen wir auch mit dieser Schädlichkeit rechnen. Die Aufladung kann ziemlich hohe Werte erreichen. Nach Messungen, die von Wintz hier an Patienten ausgeführt wurden, ergab sich eine Aufladung an der Körperoberfläche von 3000 bis 4000 Volt. Nicht leugnen können wir auch die Schädlichkeit des ewigen Lärmes, den der Betrieb der Apparate naturgemäß mit sich bringt. Ferner kommen auch in manchen Betrieben die schlechten räumlichen Verhältnisse in Betracht, die wir in den Röntgenzimmern finden. Da sind es oft so kleine Räume, in denen die Bestrahlungen vorgenommen werden, daß man sie z. B. als Krankenzimmer nicht nehmen könnte; aber für das Bestrahlungszimmer genügen sie gleichwohl immer noch! Dazu werden diese Räume, da sie wegen der entkleideten Patienten in der Regel überheizt werden müssen, nicht genügend ventiliert, und die üblen Düfte, die ein zerfallendes

Karzinom, das bestrahlt werden soll, mit sich bringt, tragen auch nicht dazu bei, den Aufenthalt in diesen Räumen angenehmer zu machen.

Über den Ozongehalt der Röntgenzimmerluft und seine Wirkungen auf Bestrahler und Bestrahlte wird in den letzten Kapiteln zu handeln sein.

7. Geschmacks- und Geruchsirritationen.

Jeder, der sich einmal in einem Röntgenzimmer aufgehalten hat, kennt den „Röntgenzimmergeruch", den Geruch nach Ozon. In der Regel ist dieser ausgesprochene Geruch nicht ganz so rein, als man ihn bei der Darstellung des Ozons im chemischen Laboratorium zu beobachten gewohnt ist, unverkennbar ist er aber in jedem Fall. Wenn es auch Leute gibt, die behaupten, daß der Ozongeruch ein angenehmer sei, so gilt das sicher nur für ganz wenige, die überwiegende Mehrzahl empfindet den Geruch als unangenehm. In dieser Empfindung stimmen Bestrahlte und Bestrahler überein, anders aber werden die Erscheinungen, wenn die Patienten nach der Bestrahlung das Röntgenzimmer schon verlassen haben; dann treten bei manchen weitere unangenehme Sensationen auf. Die Patienten klagen über metallischen Geschmack, der oft auch als mehr bitter geschildert wird. Von auffallend vielen wird er spontan als Bleigeschmack bezeichnet. Manchmal zeigen die Patienten auch weitere Geruchsstörungen, die sich in dem Mangel an Empfindungsvermögen für gewisse Gerüche äußern. So konnten wir verschiedene Male beobachten, daß Bestrahlte Kölnisches Wasser und andere Parfüms, deren Geruch ihnen vor der Bestrahlung sicher geläufig war, nach der Bestrahlung nicht mehr erkannten. Dabei ist bemerkenswert, daß die Patienten nicht darauf aufmerksam gemacht worden waren, sondern diese Erscheinung von selbst gefunden hatten, und ferner, daß während der Zeit der Geruchsunempfindlichkeit keine katarrhalischen Erscheinungen bestanden hatten. Nach Verlauf von einem Tag war das Geruchsvermögen wieder vollständig normal, und zwar war es allmählich wieder aufgetreten. Was den Geruch im Röntgenzimmer betrifft, so ist es wichtig festzustellen, daß bei verschiedenen Personen eine Gewöhnung an den Geruch eintritt, so daß sie ihn gar nicht mehr empfinden, während bei anderen

ine große Empfindlichkeit gegen das Ozon auftritt, so daß sie chon an dem Geruch der Kleider einer Person erkennen önnen, ob diese Person im Röntgenzimmer sich aufgehalten at oder nicht. Sicher ist also, daß der Geruch im nicht ven-lierten Röntgenzimmer als unangenehm empfunden wird. Wie ir sehen werden, stammt dieser Geruch wirklich von dem eim Röntgenbetrieb entwickelten Ozon.

Was die Geschmackssensationen der Bestrahlten betrifft, kann uns die Erklärung, daß es sich um eine Ozonwirkung andelt, hier nicht genügen, schon aus dem Grunde nicht, daß ei den Bestrahlern noch sehr selten solche Geschmacksstörungen eobachtet wurden. Hier müssen wir noch annehmen, daß uch die direkte Einwirkung der Röntgenstrahlen und die da-urch hervorgerufenen chemischen Zersetzungsprodukte und ielleicht nicht minder die elektrischen Aufladungen des ganzen örpers eine gewisse Rolle spielen. Die ganzen Erscheinungen ei den Bestrahlten sind überhaupt mehr unangenehm als be-rgniserregend, auch verschwinden sie rasch von selbst. Sollten e nicht so rasch verschwinden, als es die Patienten gerne er-arten, so genügen Spülungen des Mundes mit Wasser, dem inige Tropfen alkoholischer Menthollösung zugesetzt sind.

Die Belästigung, die das Personal und die Patienten durch as Vorhandensein des Ozons erleiden, veranlassen uns auch, bgesehen davon, daß, wie wir später sehen werden, die Ozon-enge manchmal die toxische Dosis erreichen kann, besondere Maßregeln zu ergreifen, teils um die Bildung des Ozons ein-uschränken, teils um das doch gebildete wegzuschaffen.

III. Fragestellung und Ziel unserer Versuche.

Es ist eine schon lange bekannte Tatsache, daß beim Durch-chlagen des elektrischen Funkens durch die atmosphärische Luft er Sauerstoff und der Stickstoff teilweise miteinander vereinigt erden, mit anderen Worten, daß der Stickstoff verbrannt wird. urch die Kenntnis dieser chemischen Reaktion ist viel Auf-egung in die Röntgentherapeutenwelt gekommen, da man sich ber die Mengen an Stickstoffsäuren, die sich so bilden können, anz irrige Vorstellungen gemacht hat. Man hat allgemein eren Menge überschätzt. Die Gase, die sich da bilden, sind

die Oxyde des Stickstoffs, nämlich: Stickstoffoxyd NO, dann dessen Oxydationsprodukt NO_2, das sich bei Gegenwart von überschüssiger Luft spontan bildet; nicht aber, wie so oft angenommen wird, auch das Salpetrigsäureanhydrid N_2O_3. Die Verbrennung des Stickstoffs ist eine endotherme Reaktion, das entstehende Stickstoffmonoxyd eine stark endotherme Verbindung. Das Stickstoffmonoxyd hat nun, wie schon gesagt, die Eigenschaft, daß es beim Vorhandensein von überschüssigem Sauerstoff in das Stickstoffdioxyd übergeht. Dieses Stickstoffdioxyd ist ein Gas von dunkelbrauner Farbe, das sich bei niedriger Temperatur zu einer hellgelben Flüssigkeit verdichten läßt. Bei der normalen Zimmertemperatur nun besteht dieses Gas aber nicht aus reinem Stickstoffdioxyd, sondern, wie man aus Dampfdichtebestimmungen gesehen hat, zum Teil aus N_2O_4- und zum Teil aus NO_2-Molekülen. So wurde bei einer Temperatur von 26 Grad z. B. der Gehalt des Gases als zu 34.4 % aus N_2O_4 bestehend festgestellt. Das Stickstofftetroxyd als solches zeigt die bemerkenswerte Eigenschaft, daß es sich bei Berührung mit Wasser mit diesem zu Salpetersäure und zu salpetriger Säure verbindet:

$$\begin{matrix} NO_2 \\ NO_2 \end{matrix} + H_2O = NO_2 \cdot OH + NO \cdot OH.$$

Theoretisch kann man sich also den Verbrennungsvorgang des Stickstoffs so vorstellen:

Unter der Einwirkung der enormen Temperatur des elektrischen Funkens verbindet sich der elementare Stickstoff, der ja sonst chemisch sehr träge ist, mit dem Sauerstoff zu Stickstoffmonoxyd. Dabei bleibt der Vorgang aber nicht stehen. Das Stickstoffmonoxyd verbindet sich ja sehr leicht mit Sauerstoff zu Stickstoffdioxyd, und von diesem wieder wandelt sich eine von der Temperatur abhängige Menge in Stickstofftetroxyd um. Soweit gehen die chemischen Reaktionen in trockener, aber nicht absolut trockener Luft. Es besteht gar kein Grund zu der Annahme, daß sich da auch schon gewöhnlich das Salpetrigsäureanhydrid gebildet hat. Anders wird es, wenn zu dem Gasgemisch Wasser, sei es in gasförmiger oder flüssiger Form, hinzukommt. Dann vollziehen sich wieder eine ganze Reihe von gut übersichtlichen Umwandlungen. Das Stickstofftetroxyd, das sich in einer bei gleicher Temperatur konstanten Menge in dem Gas-

gemisch befindet, reagiert mit dem Wasser nach oben angeführter Formel unter Bildung von Salpetersäure und von salpetriger Säure. Aber in dem gleichen Maße, als sich das Stickstofftetroxyd mit dem Wasser umsetzt, bildet es sich aus dem Stickstoffdioxyd von neuem, und dies neue Quantum geht wieder mit Wasser in Salpetersäure und salpetrige Säure über, so lange, bis das ganze gebildete Stickstoffmonoxyd sich über das Stickstoffdioxyd und das Stickstofftetroxyd in die beiden Säuren umgewandelt hat. Im Verlauf unserer weiteren Untersuchungen werden wir sehen, wieso wir dazu berechtigt sind, diesen Umwandlungsweg und nur diesen als den richtigen anzunehmen. Wie aber steht es mit der Menge des verbrannten Stickstoffs, von welchen Komponenten ist dessen Menge abhängig? Einmal sicher von der Zeit, in der der Funke auf das Gas einwirkt, sodann auch von der Strömungsgeschwindigkeit, mit der das Gas an der Funkenstrecke vorbeigeleitet wird; dann von der Funkenlänge, d. h. von der Größe der Berührungsfläche zwischen Gas und Funken und endlich von der Temperatur des Funkens. Relativ einfach sind in bezug auf die Zeit die Bildungsverhältnisse bei der Stickstoffverbrennung im geschlossenen Rohr. Hier wirkt die Zeit der Einwirkung des Funkens nur in dem Sinn, daß mit der Länge der Einwirkung auch die Menge des gebildeten Stickstoffmonoxyds allmählich zunimmt und zwar bis zu einem Gleichgewichtszustand, bei dem sich die Menge der Stickstoffoxyde, die durch den Funken gebildet werden, mit der Menge, die durch den Funken wieder zerlegt werden, die Wage halten. Denn auch hier gilt ja das Gesetz von dem chemischen Gleichgewicht. Folgende Gleichungen versinnbildlichen uns diese Vorgänge:

$$N + O \rightleftarrows NO;\ NO + O \rightleftarrows NO_2.$$

So liegen die Verhältnisse bei relativ langer Berührung der Luft mit dem Funken. Ganz andere Bedingungen aber schaffen wir, wenn wir den Funken nicht auf die ruhende, sondern auf die bewegte Luft einwirken lassen. Die Bildung sowohl als auch die Zerstörung des NO erfolgt nämlich sehr viel langsamer als die ebenfalls unter der Wirkung des elektrischen Lichtbogens vorsichgehende Umwandlung des Sauerstoffs in seine allotrope Modifikation, das Ozon. Kurze Erhitzung und rasche Abkühlung der Luft liefern deshalb Ozon; sind dagegen

beide Zeiten lang, so bilden sich zwar sowohl Stickoxyd als auch Ozon, das Ozon aber wird bei der langsamen Abkühlung wieder zerstört. Welche Verhältnisse haben wir nun bei unseren Funkenstrecken zu erwarten? Es ist sicher, daß wir es da weder mit einer reinen Stickstoffoxyd- noch mit einer reinen Ozonbildung zu tun haben, je nachdem der Funke als Bogen- oder mehr als Glimmlicht übergeht. Bei den Vorschaltfunkenstrecken, die wir ja in der früher gebräuchlichen Anordnung und Anwendung als Schließungslichtsperrer häufig gebrauchen mußten, geht der ganze zur Anwendung gelangende Strom an einer kleinen Drahtleitungsunterbrechungsstelle durch die umgebende Luft. Hier haben wir es mit langer Erhitzungs- und langer Abkühlungsdauer zu tun, d. h. hier haben wir eine Quelle, an der sich Stickoxyde bilden können. Ganz andere Verhältnisse aber finden wir, was bis jetzt keiner der Autoren, die über die sogenannte Röntgengasvergiftung etwas publiziert haben, beachtet hat, bei der Parallelfunkenstrecke. Beim normalen Betrieb nämlich sehen wir doch an dieser Funkenstrecke nur relativ selten einen laut knallenden Funken überspringen, meist hören wir ein leises oder bei höheren Spannungen auch stärkeres Summen, und im Dunkeln können wir gut sehen, wie z. B. von der Spitze der Funkenstrecke ganz dünne blauviolette Lichtpinsel zum anderen Pol hinübergehen. Auch sehen wir, wenn die Spannung so groß ist, daß sie nur ein klein wenig kleiner ist, als sie zum Übergang eines hell leuchtenden Funkens sein müßte, daß dann das ganze zwischen den Polen liegende Luftfeld im violetten Lichte leuchtet. Wir haben es dann mit einer ausgesprochenen dunkeln elektrischen Entladung, einer Ozonbildungsstelle zu tun. Wir müssen erwarten, daß auch die Produkte, die unter der Einwirkung dieser ganz voneinander verschiedenen Kräfte entstehen, verschieden sein müssen. Und das sind sie auch. Wir haben uns deshalb folgende Fragen vorgelegt: Wie groß ist die Menge der Stickstoffoxyde, die sich beim Übergang des lauten Funkens bei 2 Milliamp. Betriebsstromstärke und bei bestimmter Funkenlänge bildet? Woraus bestehen diese Stickoxyde? Wie groß ist die Menge der gebildeten salpetrigen Säure? Ändert sich die Zusammensetzung der Stickoxyde beim längeren Betrieb des Funkenübergangs? Wie groß ist die theoretisch mögliche Menge salpetriger Säure, die wir

im Röntgenzimmer überhaupt erwarten können? Wie sind die Verhältnisse an der Parallelfunkenstrecke und an den Drahtleitungen beim technischen Betrieb? Welches ist die theoretisch zu erwartende Menge von Ozon? Und am Schluß, wie sind die Verhältnisse in Wirklichkeit beim technischen Betrieb? Wir werden sehen, daß man einesteils die Menge der gebildeten nitrosen Gase weit überschätzt hat, und daß andererseits große Unterschiede zwischen den theoretisch zu erwartenden Mengen Stickoxyd bezw. salpetriger Säure und Ozon und den wirklich vorhandenen Mengen dieser Gase bestehen. Wir betonen ausdrücklich, daß wir es hier mit Untersuchungen zu tun haben, die den Verhältnissen beim technischen Betrieb so weit als möglich gleichkommen sollen, und aus diesem Grunde können wir die Resultate leider nicht mit den bei anderen ausschließlich wissenschaftlichen Untersuchungen gewonnenen Zahlen vergleichen. Nun zu unseren Versuchen selbst.

IV. Die Veränderungen der Luft beim Durchgang des leuchtenden lauten Funkens.

1. Die durch die Stickstoffverbrennung hervorgerufenen Veränderungen des Luftwiderstandes gegen den hochgespannten elektrischen Strom. Der Einfluß der Temperatur auf den Widerstand nach dem Funkenübergang.

Versuchsanordnung: An die Pole eines Apex-Induktors wurde die Röhre direkt mit Hilfe eines Kupferbandes angelegt. Die Röhre selbst war eine Glaskugel mit einander gegenüberstehenden Ansätzen von im ganzen 2615 ccm Inhalt und besaß Platinspitzen. Der Abstand zwischen diesen betrug unveränderlich 13 cm. Als Gas enthielt die Röhre reine Luft. Die Röhre selbst war vor Beginn der Versuche bei 110 Grad getrocknet worden. Bei Beginn des Versuches zeigte das in den Sekundärstromkreis eingeschaltete Milliampèremeter 2.2 M.A. Nach 4 Minuten Betrieb war von der Luft so viel N verbrannt, daß es bei dieser Spannung nicht mehr gelang, einen Funkenübergang zu erzielen. Es mußte deshalb die Spannung erhöht werden, bis wiederum ein Funkenstrom auftrat. Bei der erhöhten Spannung zeigte das Milliampèremeter 3 M.A. an. Aber auch jetzt reichte die Spannung noch nicht hin, um einen dauernden

Funkenübergang aufrecht zu erhalten. Nach 3 Minuten Betriebsdauer war das Milliampèremeter immer mehr gefallen, und am Schluß dieser Zeit blieb der Funke aus. Es wurde dann die Spannung noch einmal erhöht bis 4.2 M.A. beim Betrieb und dann nach weiteren 4 Minuten der Versuch abgebrochen, weil der Funke nicht mehr durch die Röhre, sondern an der Parallelfunkenstrecke überging. Bei der Wiederholung des Versuches hielten wir nur 4 Minuten lang die Röhre in Betrieb und ließen sie dann erkalten. Dabei zeigte sich, daß zuerst bei der Kontaktstellung wie beim vorigen Betrieb kein Funke durch die Röhre ging. An der Hochspannungsleitung machte sich ein auffallend starkes Summen bemerkbar, ein Zeichen, daß viel Strom durch die Röhre ging; da aber die Leitfähigkeit der veränderten Luft in der Röhre sehr groß war, so kam es nicht zu einem Funkenübergang. Bei weiterer Steigerung der Betriebsspannung gelang es trotzdem doch, einen Funken durch die Röhre zu schicken. Auffallenderweise war aber dieser Durchbruchsstrom zum Dauerbetrieb viel zu hoch gespannt, denn kaum war die Röhre 10" in Betrieb, als sich schon der Röhreninhalt so stark erwärmt hatte, daß sich bei der angewendeten starken Spannung, der Durchbruchsspannung, ein Lichtbogen zwischen den Spitzen bildete, so daß der Versuch entweder wegen der Gefahr des Zerspringens der Röhre abgebrochen oder die Spannung erniedrigt werden mußte. Wir sehen aus diesem einfachen Versuch, daß sich der Widerstand, den eine Luftschicht dem elektrischen Strom bietet, bei längerem Funkendurchgang sehr weitgehend verändert. Wollten wir etwa annehmen, daß infolge einer maximalen Vereinigung des Stickstoffs mit dem Sauerstoff ein Gleichgewichtszustand eingetreten sein müßte, so erkennen wir bei genauer Beobachtung doch, daß diese Annahme keineswegs zutrifft. Die so veränderte Luft zeigt das typische Phänomen, das man auch bei harten Röntgenröhren findet: die starke Erhöhung der Durchbruchsspannung. Es ist deshalb die gewöhnliche Gasfunkenstrecke, wie sie z. B. Reusch beschreibt, für feinere Arbeiten und Betriebe nicht zu gebrauchen, da sie eine zu variable Größe darstellt. Aus dieser Erkenntnis heraus haben wir verschiedene andere Gase auf ihre Verwendbarkeit als Füllungen solcher Vorschaltfunkenstrecken untersucht. Dabei haben wir folgendes ermittelt.

Versuchsanordnung: Um die Versuche so unkompliziert nd so eindeutig wie möglich zu gestalten, haben wir eine ganz infache Anordnung in Anwendung gebracht. Der von dem pexinduktor kommende, sicher in nur einem Sinne laufende trom wurde durch zwei Drähte, die gleich lang waren, in die wei Funkenstreckensysteme, die miteinander verglichen werden ollten, geleitet. Das eine System der Funkenstrecken, die ontrollfunkenstrecke, war eine Luftfunkenstrecke, die aus einer pitze und einer Platte bestand, deren variabler Abstand auf mm genau gemessen werden konnte. Dies war die immer leichbleibende Vergleichs- und Meßfunkenstrecke. Das Gas un, dessen Widerstandswert geprüft werden sollte, befand sich einem Glasgefäß, das eine feste Plattenelektrode und eine ewegliche Spitzenelektrode besaß. Die Beweglichkeit der pitzenelektrode wurde dadurch erreicht, daß sie an ihrem der pitze entgegengesetzten Teile einen Eisenzylinder trug. Die nze Elektrode befand sich in einem senkrecht zur Platten- berfläche angeordneten, in einem Ansatz des Glasgefäßes ein- eschmolzenen Glasrohr und stand durch eine Kette mit an- elötetem Platindraht nach außen in leitender Verbindung. Da- urch nun, daß man von außen her einen starken Magneten an en Eisenzylinder legte, gelang es leicht die Elektrode bei ge- chlossenem Gasraum zu bewegen. Eine an dem Führungsglas- ohr angebrachte in mm eingeteilte Skala gestattete, die Ent- rnung, die die beiden Elektroden voneinander hatten, zu jeder eit genau zu bestimmen. Zur Füllung der Glasgefäße wurden ei der Bestimmung nur absolut reine und auf ihren Reinheits- rad untersuchte Gase verwendet. So wurde z. B. das Kohlen- oxyd, das durch Glühen von Magnesit gewonnen worden war, urch Kaliumpermanganat und dann durch Natriumbikarbonat- ufschwemmung geleitet und schließlich in einem mit Chlor- alzium gefüllten U-Rohr getrocknet. Ehe wir das entwickelte ohlendioxyd zur Füllung verwendeten, prüften wir es auf ine Reinheit dadurch, daß wir es in einen mit 33%iger Kali- uge gefüllten Stickstoffbestimmungsapparat leiteten. Die Prü- ng ergab dann meist, daß das Gas vollständig absorbiert wurde. ar das nicht der Fall, so verwendeten wir das Gas nicht zur üllung. Die Füllung der Funkenstreckenglasgefäße selbst ge- hah so, daß das Gefäß mit einem Druckschlauch an ein T-Stück

angeschlossen wurde, von dem auf der einen Seite ein Schlauch zu einer Wasserstrahlpumpe mit dazwischengeschaltetem Chlorkalziumrohr führte, während auf der anderen Seite ebenfalls durch einen ganz dichten geprüften Druckschlauch eine Verbindung mit dem Gasentwicklungsapparat bestand. Gute Glashähne gestatteten jederzeit, die Verbindung unter den Schlauchleitungen nach Bedarf herzustellen oder zu unterbrechen. Durch Öffnen des Hahnes, der zu der Wasserluftpumpe führte, und Schließen desjenigen, der zu den Gasentwicklungsapparaten führte, wurde zuerst das Glasgefäß so weit als möglich ausgepumpt, dann der Weg zur Luftpumpe abgesperrt und die Verbindung mit dem Gasentwicklungsapparat hergestellt. Nachdem sich jetzt genügend von dem zu untersuchenden Gas (Druckgleichheit mit dem Barometerstand) in dem Glasgefäß angesammelt hatte, wurde wieder ausgepumpt und dann von neuem mit Gas gefüllt. Auf diese Weise gelang es schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit — durchschnittlich genügte achtmaliges Auspumpen — ein sehr reines Gas in das Untersuchungsgefäß zu bringen. Der Wasserstoff wurde elektrolytisch gewonnen, zur Reinigung über glühendes Kupfer geleitet und getrocknet. Das Ammoniak wurde aus reinem Chlorammonium und Natronlauge hergestellt und mit gebranntem Kalk getrocknet, wobei aber immer noch eine nachweisbare Menge Wasserdampf in dem Ammoniak vorhanden war. Auch hier geschah die Überführung der Gase in der oben beschriebenen Weise. Nachdem die Röhren so vorbereitet waren, schritten wir zur Ausführung der eigentlichen Bestimmungen. Zu diesem Zwecke wurde das Untersuchungsrohr in der oben geschilderten Weise angeschlossen, dann mit Hilfe des Magneten die gasdichte Funkenstrecke auf einen genauen Abstand eingestellt und der Strom eingeschaltet, nachdem vorher die Luftfunkenstrecke so weit gestellt worden war, daß an ihr sicher kein Stromübergang erfolgen konnte. Es ist hier an der Zeit zu bemerken, daß wir in den Primärstromkreis des Induktors, um die Stromregulierung noch feiner abstufbar zu machen, zu dem schon vorhandenen Drahtwiderstand noch einen Wasserwiderstand mit Bleiplattenelektroden vorgeschaltet hatten. Auf diese Weise gelang es besser, als es mit Hilfe von Drahtwiderständen möglich gewesen wäre, die Stromstärke zu regulieren und auf ein genaues Maß einzu-

ellen. War es nötig mit sehr großen Primärstromstärken arbeiten, so gaben wir in den Wasserwiderstand zur Erhung der Leitfähigkeit Natriumsulfat. Nach Einschaltung des romes steigerten wir durch Verringerung des Widerstandes Primärstromkreis allmählich die Spannung so weit, daß an r zu prüfenden Gasfunkenstrecke ein Funkenübergang einat. Von da an veränderten wir den Widerstand im Primäromkreis nicht mehr. Es blieb nun nur noch übrig, die Luftnkenstrecke langsam so weit zu verkleinern, daß schließlich ihr ein Funke überging, d. h. daß sie jetzt dem Strom ein was geringeres Hindernis zum Übergang bot als die Gasfunkenecke. Mit anderen Worten, in diesem Augenblick wurde der quivalentwert der Gasfunkenstrecke überschritten. Da wir n die Spannungen, die zur Überbrückung einer bestimmten ftschicht nötig sind, genau aus anderen Arbeiten kennen ab. III), so ist es ein leichtes, zu berechnen, wie groß die annung sein muß, um eine gewisse Schicht des untersuchten ises zu durchschlagen. Auf diese Weise fanden wir, daß einder entsprechen:

Tabelle II.

cm Luft-	cm CO_2-	cm H_2-	cm NH_3-Strecke
8.1	—	8.0	—
10.7	—	10.0	—
11.0	6.0	—	—
11.6	—	—	6.0
12.0	—	10.9	—
13.1	—	—	7.0
13.7	—	12.0	—
14.2	8.0	—	—
14.7	—	—	8.0
15.7	—	—	9.0
16.2	9.0	—	—
16.7	—	14.0	—
17.3	—	—	10.0
17.8	10.0	—	—
18.6	—	—	11.0
19.2	—	15.5	—
19.8	—	—	12.0
20.9	—	—	13.0
21.7	12.0	—	-
22.1	—	—	14.0

Man braucht die Luftwerte nur nach folgender Tabelle II in Rechnung zu setzen, so kann man die Durchbruchsspannung für die untersuchten Gase berechnen. In dieser Tabelle bedeuten die Angaben in cm die Entfernung der Elektroden Spitze und Platte, voneinander.

Tabelle III.

Volt	cm	Volt	cm	Volt	cm
10000	1.0	60000	10.4	110000	27.1
15000	1.7	70000	13.2	120000	31.0
20000	2.4	80000	16.3	130000	35.0
30000	4.0	90000	19.6	140000	39.0
40000	5.8	100000	23.0	150000	43.0
50000	8.0			160000	47.0

(Luft trocken bei 740 mm Bar.)

2. Säurebildung bei der Luftstickstoffverbrennung.

Versuche zur quantitativen Bestimmung der durch einen Funkenübergang hervorgerufenen Säuremenge.

Versuchsanordnung: Das Versuchsrohr, mit dem diese Bestimmungen vorgenommen wurden, bestand aus einer Glaskugel mit zwei seitlichen Ansätzen, in die die Elektroden eingeschliffen waren. Die Elektroden selbst waren aus einem $^1/_2$ mm dicken Platindraht hergestellt, der so in ein Glasrohr eingeschmolzen war, daß an der Spitze nur ein $^1/_2$ cm langes Stück frei lag. Dadurch, daß diese Elektroden nicht in das Glasgefäß eingeschmolzen, sondern in die zwei Ansätze eingeschliffen waren, ließ sich der ganze Apparat sehr leicht reinigen. Der unveränderliche Abstand, in dem sich die zwei Elektrodenspitzen befanden, betrug 13 cm. Der Inhalt des gesamten Gasraumes 2615 cm. Zwei Glashähne an den beiden Ansätzen gestatten Luft durchzusaugen. Die Röhre selbst wurde vor jedem Versuch mit Schwefelsäure-Chromsäuregemisch ausgeschwenkt, dann zuerst mit gewöhnlichem Wasser bis zum Verschwinden jeder Säurereaktion ausgespült, mit destilliertem Wasser dreimal durchgeschüttelt und dann bei 120 Grad getrocknet. Auf die notwendige Reinheit der Luftfüllung der Röhre wurde das größte Gewicht gelegt. Aus diesem Grunde wurde nie die gewöhnliche Laboratoriumsluft wegen der Gefahr einer Verunreinigung verwendet, sondern die zur Anwendung kommende

Luft wurde durch Glasröhren, die vor dem Fenster ausmündeten, in die Glaskugel eingesaugt. Zur weiteren Reinigung wurde diese Luft durch Watte filtriert und durch Kalilauge von etwa vorhandenem Säuregehalt befreit. Auf eine Trocknung verzichteten wir aus dem Grunde, weil wir eine der gewöhnlichen Luft noch möglichst gleiche Luft untersuchen wollten. Nachdem wir diese gereinigte, aber in ihren Haupteigenschaften unverändert gebliebene Luft zwei Stunden durch die Röhre gesaugt hatten, schritten wir zur Ausführung des eigentlichen Versuches. Während des Strom- resp. Funkendurchgangs selbst wurde streng darauf geachtet, daß 1. die Drahtverbindungen zur Stromquelle immer die gleichen blieben, um sonst durch Luftleitung mögliche Spannungs- und Stromverluste tunlichst zu vermeiden, 2. daß die durch das Milliampèremeter angezeigte Stromstärke immer die gleiche blieb, was durch die schon oben erwähnte Anwendung des in den Primärstromkreis eingeschalteten Wasserwiderstandes leicht gelang. Der zu den Untersuchungen verwendete Apexinduktor war für 220 Volt Primärspannung gebaut und wurde mit Gasunterbrecher betrieben. Die Tourenzahl des Unterbrechers wurde konstant auf 1200 Touren in der Minute gehalten und die Schaltung am Unterbrecher so eingestellt, daß für jede Tour zwei Unterbrechungen stattfanden, so daß in der Minute 2400 Stromstöße durch die Anordnung gingen. Aus der Zahl der Stromstöße, die wir in einer gewissen Zeit durch die Röhre gehen ließen, und aus der Menge der nitrosen Gase, die wir messen konnten, gelang es dann, die von einem Funken hervorgebrachte Oxydation des Luftstickstoffs zu bestimmen. Bei diesen Bestimmungen der gesamten gebildeten Stickoxyde genügte es vollauf, daß wir die Bestimmungen titrimetrisch ausführten. Unter peinlicher Einhaltung der vorerwähnten Bedingungen ließen wir den Funken eine mit Hilfe einer Stoppuhr genau gemessene Zeit, z. B. 2 Minuten, durch die Röhre gehen. Dann ließen wir die Röhre, die sich bei längerem Betrieb immer ziemlich stark erhitzte, spontan abkühlen. Durch die Verbrennung des Stickstoffs war, nachdem die Röhre die Temperatur der umgebenden Luft angenommen hatte, eine Druckverminderung eingetreten, zumal da sich die Gase in dem in der Versuchsluft immer vorhandenen Wasserdampf gelöst hatten. Diese Druckverminderung erleichterte das Ein-

bringen der $^1/_{10}$ Normal-Natronlauge, von der eine genau gemessene Menge zur Absorption der gebildeten „Säuren“ verwendet wurde. An das eine Hahnrohr der Versuchsröhre wurde ein kleiner kurzer Gummischlauch angebracht und an diesen die Pipette mit der abgemessenen Natronlauge angefügt. Beim Öffnen des Hahnes lief dann die Natronlauge von selbst in das Versuchsgefäß. So war es möglich die Flüssigkeit in das Gefäß zu bringen, ohne daß ein Teil der zu untersuchenden Luft herausgelassen werden mußte. Unter wiederholtem Durchschütteln blieb die Flüssigkeit $^1/_2$ Stunde in der Röhre, und erst dann wurde sie abgelassen. Der Rest der Natronlauge, der in dem Versuchsgefäß verblieb, wurde nicht bestimmt, da ja die ganze eingebrachte Menge der Natronlauge bekannt war. Von der Natronlauge nun, die die gebildeten „Säuren“, d. h. die Stickoxyde, absorbiert hatte, wurde ein abgemessener Teil, z. B. 25 ccm, in ein Becherglas gegeben, der Indikator — Methylorange — zugefügt und mit $^1/_{10}$ Normal-Schwefelsäure die noch frei vorhandene Natronlauge bestimmt. So fand man die Menge der „Säuren“, die sich in einer bestimmten Zeit infolge einer genau bekannten Zahl von Funkendurchgängen in der Luftfüllung der Glaskugel gebildet hatten. Unter der Annahme, daß die ganze gebildete Säure nur aus salpetriger Säure bestände, wurde aus der Titration berechnet, wieviel salpetriger Säure der Verbrauch von NaOH entsprechen würde. Durch Division der so gefundenen Menge salpetriger Säure mit der bekannten Funkendurchgangszahl fanden wir die durch einen Funken gebildete Menge salpetriger Säure. Wir wollen nicht versäumen gleich darauf hinzuweisen, daß diese Zahlen um ca. 50 % zu hoch sind, da sich bei späteren Untersuchungen ergeben hat, daß von der gesamten Menge gebildeter Säure nur ca. 50 % salpetrige Säure sind.

Tabelle IV.

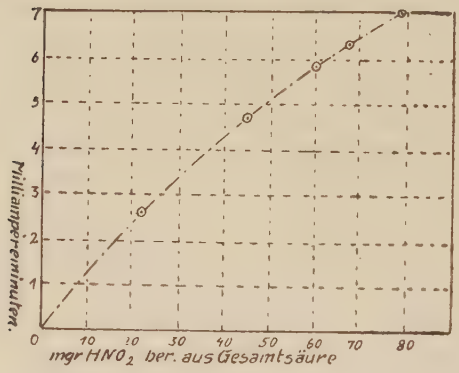
Dauer	Mil.-Amp.	Angewend. $^1/_{10}$ Norm. NaOH	Verbr. $^1/_{10}$ Norm. H_2SO_4	Berechnete Gesamt-HNO_2	Durch einen Funken erzeugte HNO_2
1'00"	2.3	100 ccm	25 : 1.2	0.022568 g	0.00000940 g
2'25"	1.9	300 ccm	25 : 0.8	0.045137 g	0.00000920 g
2'84"	2.0	200 ccm	25 : 1.6	0.060183 g	0.00000864 g
3'00"	2.1	400 ccm	50 : 1.8	0.067706 g	0.00000940 g
3'30"	2.3	200 ccm	25 : 2.1	0.078990 g	0.00000940 g

Betrachten wir die durch Rechnung gewonnenen Werte für die durch einen einzigen Funken erzeugten Säuremengen, so gewinnen wir die Überzeugung, daß diese Versuche offenbar zuverlässige, mit aller nur möglichen Genauigkeit übereinstimmende Werte für den Einzelfunkenschlag ergeben. Welche Schlüsse können wir nun aus diesen Zahlen ziehen? Wir haben gefunden, daß ein einziger Funkenschlag von 13 cm Länge eine Säuremenge von 0.00000920 gr HNO_2 (Mittel aus den obigen 5 Werten) produziert. Da die Menge der gebildeten „Säure" aber proportional mit der Funkenlänge größer wird, so wird bei der normalen Betriebsspannung und Funkenlänge von 39 cm von einem einzelnen Funken eine Säuremenge von 0.0000276 gr HNO_2 gebildet werden müssen. Da aber beim normalen Betrieb die Parallelfunkenstrecke nur etwa zweimal in der Minute in der Dauer von ungefähr $^1/_5$ Sekunde anspricht, so können wir berechnen, daß von der Parallelfunkenstrecke bei 140000 Volt Betriebsspannung[1]) in der Stunde 0.02649 gr salpetrige Säure produziert werden können. Ganz abgesehen davon, daß sich selbst in einem nicht maschinell entlüfteten Raum die Luft spontan erneuert, so verteilt sich diese Säuremenge doch im ganzen Röntgenzimmer. In einem Raum von 280 cbm z. B. wird dann der Gehalt an Säure, selbst wenn gar keine Ventilation stattfinden sollte, bei Vorhandensein von zwei in Betrieb befindlichen Funkenstrecken in 8 Stunden 0.00151 g pro cbm betragen. Diese Menge ist so gering, daß wir schon aus diesem Grunde, ganz abgesehen von den Fehlern, die sie sonst noch besitzt, die gasdichte Funkenstrecke von Rieder für überflüssig halten. Wie schon Wintz (9) darauf hingewiesen hat, ist die Funkenstrecke, wenn man sie überhaupt als Meßinstrument verwenden will, so empfindlich, daß es dringend nötig ist, dabei so einfache Verhältnisse als nur möglich einzuhalten und nicht noch so unkontrollierbare Größen einzuführen. Wir denken da vor allem an die Säureimprägnation des Holzkastens, der die Funkenstrecke bei der „gasdichten Funkenstrecke" umgibt. Gut ist der Gedanke ja in bezug auf die Verminderung des Betriebsgeräusches. Aber auch dazu ist die Vorrichtung nicht aus-

[1]) Dieser Betriebsspannung entspricht eine Parallelfunkenstrecke mit einem Elektrodenabstand von 39 cm.

reichend; da ist es dann schon besser, wenn man überhaupt die Trennung von Maschinenraum und Bestrahlungsraum durchführt. Die Isolationstechnik ist ja auch in diesem Punkte in der letzten Zeit so weit fortgeschritten, daß man ohne stärkere Stromverluste diese Anordnung durchführen kann.

Was die Beurteilung der Gesamtmenge der gebildeten Säure betrifft, so müssen wir hervorheben: Die von uns ermittelten Werte für die gebildeten „Säuren" sind nur die bei kurzer Betriebsdauer gewonnenen. Wir sehen beim Eintragen dieser Werte in eine Kurve, daß die Verbindungslinie dieser Werte mit großer Annäherung eine Gerade darstellt, d. h. daß die Säuremenge zuerst direkt proportional der Zeit zunimmt. Anders wird aber die Sache, wenn die Einwirkung des Funkens auf die Luft längere Zeit hindurch stattfindet. Zwar konnten wir wegen Apparaturschwierigkeiten — bei längerem Betrieb als 10 Minuten sprangen infolge der großen Hitze die Röhren — nur zwei Bestimmungen der gebildeten Säuren nach einem Betrieb von 30 und 60 Minuten bei 2 Milliampère Belastung ausführen, aber diese Zahlen gestatten, in Verbindung mit dem Verhalten der anderen Gase im elektrischen Lichtbogen bezw. Funken doch, sich über das weitere Verhalten der Luft bei längerem Funkenübergang ein Bild zu machen. Wir fanden bei der erwähnten Bestimmung:



Kurve I.

Tabelle V.

Dauer	Mil.-Amp.	Angewend. $^1/_{10}$ Norm. NaOH	Verbr. $^1/_{10}$ Norm. H_2SO_4	Berechnete Gesamt-HNO_2	Durch einen Funken erzeugte HNO_2
30'	2.0	200 ccm	25 : 8.0	0.3009152 g	0.000 00286 g
60'	2.0	200 ccm	25 : 11.0	0.4137580 g	0.000 00416 g

Wir sehen sofort, daß die aus der Gesamtmenge der gebildeten Säure berechnete, durch einen Funken hervorgebrachte Säuremenge nicht mehr so groß ist, als wenn man diese Menge aus den in der vorhergehenden Tabelle enthaltenen Zahlen berechnet. D. h. mit anderen Worten: Der Satz, daß die gebildete Säuremenge proportional der Funkendurchgangszeit ist, gilt nur für die kurzen Betriebszeiten. Die Gründe, warum die Menge der gebildeten Stickoxyde bezw. Säuren bei längerer Betriebsdauer nicht mehr proportional der Zeit zunimmt, sind folgende:

1. tritt infolge der Verbrennung eines Teils des Luftstickstoffs allmählich eine Verarmung an reaktionsfähigem Stickstoff ein;

2. tritt wie bei jeder chemischen Reaktion allmählich ein Gleichgewichtszustand ein, indem einesteils die Gegenwart einer gewissen Menge der neu gebildeten Produkte ihre weitere Neubildung verhindert, andererseits durch den Funken genau so viel an Stickoxyden bezw. Säure zerstört als neugebildet wird. Wir können also auf diese Weise wenigstens bei gleicher Temperatur und gleichem Barometerstand nicht die ganze Sauerstoffmenge, die in der Luft enthalten ist, mit dem Stickstoff zur Vereinigung bringen.

Die Kurve, die wir oben durch Einzeichnen der Werte bei kurzer Betriebsdauer gefunden haben, stellt nur den Anfang der graphischen Wiedergabe dar. Der weitere Verlauf der Kurve ist der, daß ihr Steigungswinkel ein immer kleinerer wird, daß, kurz gesagt, die zuerst ansteigende Kurve allmählich in eine der Abszisse parallele Linie übergeht, d. h. daß eine weitere Bildung von Stickoxyden nicht mehr erfolgt.

3. Wie groß ist der Gehalt der dem Funken ausgesetzt gewesenen Luft an salpetriger Säure im Vergleich mit der gebildeten Gesamtsäure bei kurzer Betriebsdauer?

Versuchsanordnung: Die Versuchsanordnung war genau die gleiche wie bei der Bestimmung der Gesamtsäure. Auch die Versuchsröhre hatte dasselbe Volumen. Die Zeit, während welcher der Strom durch die Röhre ging, wurde wieder mit der Stoppuhr genau bestimmt. Die gebildeten Säuren wurden dann ebenfalls durch eine gemessene Menge

$^1/_{10}$ Normal-Natronlauge absorbiert und von dieser Natronlauge eine genau gemessene Menge zur Bestimmung der salpetrigen Säure verwendet.

Zur Bestimmung der salpetrigen Säure kam die Methode von Lunge (13) zur Anwendung. Diese beruht darauf, daß man auf die freie salpetrige Säure Kaliumpermanganat von bekanntem Gehalt einwirken läßt, wobei die salpetrige Säure unter Übergang in Salpetersäure die Entfärbung des Kaliumpermanganats bewirkt nach der Gleichung:

$$2\,KMnO_4 + 5\,HNO_2 + 3\,H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2\,MnSO_4 + 3\,H_2O + 5\,HNO_3$$

Der Umschlagspunkt läßt sich sehr genau bestimmen, auch hat die Methode den großen Vorzug, daß die bei der Stickstoffverbrennung mitgebildete Salpetersäure nicht auf das Kaliumpermanganat einwirkt, so daß absolut beweisende Zahlen nach dieser Methode gewonnen werden können. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit geben wir von jetzt an die Milliampère und die Zeit nicht mehr getrennt an, sondern bringen die Werte unter dem Produkt von Milliampère mal Zeit, unter Milliampèreminuten zur Darstellung.

Tabelle VI.

Mil.-Amp.-Min.	Angewend. $^1/_{10}$ Norm. NaOH.	Verbr. $^1/_{10}$ Norm. H_2SO_4	Verbr $^1/_{10}$ Norm. $KMnO_4$	Berechnete HNO_2	Gefundene HNO_2
5.0	100 ccm	25 : 2.85	25 : 2.90	0.053600 g	0.027270 g
5.3	300 ccm	25 : 0.90	25 : 0.90	0.050779 g	0.025389 g

Vergleicht man die aus der Gesamtsäurebestimmung berechneten Werte für die salpetrige Säure mit den durch die direkte Bestimmung gewonnenen, so fällt uns auf, daß diese Werte sehr stark voneinander abweichen, da sich ja der wahre Gehalt an salpetriger Säure bei 5 Milliampèreminuten Betrieb als zu 50.9%, der Gehalt bei 5.3 Milliampèreminuten Betrieb als zu 50% berechnen läßt. Die so gewonnenen Zahlen ergeben, daß beim kurzen Betrieb einer Funkenstrecke und natürlich auch dann, wenn eine rasche Erneuerung der Luft stattfindet, d. h. bei Strömung, der Gehalt sämtlicher gebildeter Säuren resp. Stickstoffoxyde an salpetriger Säure ungefähr 50%

beträgt. Wir werden gleich sehen, daß diese Zahlen nur für ganz kurze Einwirkung des Funkens auf die Luft gelten, daß also bei längerer Einwirkung des Funkens auf die schon gebildeten nitrosen Gase sich noch Änderungen des Gasgemisches vollziehen können. Diese Erkenntnis von der prozentualen Zusammensetzung hat einen ausschlaggebenden Wert bei der Berechnung der durch eine Parallel- oder Vorschalt-Funkenstrecke produzierten salpetrigen Säure. Der rasche Wechsel der die Funkenstrecke umspülenden Luft hat zur Folge, daß eine längere Einwirkung des Funkens auf die gebildeten nitrosen Gase nicht stattfinden kann. und aus diesem Grunde sind wir der Ansicht, daß von der gesamten durch die Einwirkung der Funken auf die Luft erzeugten „Säure“ nur 50% aus salpetriger Säure bestehen.

4. Findet bei längerer Einwirkung des Funkens auf das gleiche Luftquantum eine Veränderung der Zusammensetzung der gebildeten nitrosen Gase statt?

Wie wir bei der Beschreibung der sichtbaren Erscheinungen bei der elektrischen Entladung gesehen haben, ist bei jeder Funkenbildung auch eine dunkle elektrische Entladung vorhanden. Wir haben beschrieben, daß, wenn man mit der Betriebsspannung ein klein wenig unter der Durchbruchsspannung bleibt, eine starke dunkle elektrische Entladung vor sich geht, die sich an dem Aufleuchten der zwischen den Elektroden befindlichen Luft erkennen läßt. Nun ist aber der Entladungsvorgang eines Funkens, wenn er durch einen Induktor hervorgerufen wird, kein momentaner. Der Sekundärstrom eines Induktors ist ja ebenso wie der Primärstrom kein konstanter, sondern ein pulsierender, da die Spannung zwischen den beiden Elektroden bei jeder Unterbrechung des Primärstromes von 0 bis zur maximalen Spannung steigt und dann wieder auf 0 abfällt. Der Übergang des lauten Funkens erfolgt erst in dem Moment, in dem die Durchbruchsspannung eben überschritten wird. In der Zeit vor der eigentlichen Funkenentladung findet also eine, wenn auch zeitlich kurze, so doch intensive dunkle elektrische Entladung durch die Luft statt. Da wir nun wissen, daß der Sauerstoff der Luft unter dem Einfluß der dunklen elektrischen Entladung in das allotrope Ozon übergeht, und ferner wissen, daß das Ozon auf die salpetrige Säure oxydierend einwirkt, so

wäre es wohl denkbar, daß bei längerem Betrieb einer Funkenstrecke im gleichen Luftraum eine Einwirkung auf den Gehalt der Gesamtsäure an salpetriger Säure zu konstatieren wäre. Und zwar müßten wir da eine Verminderung des Gehaltes an salpetriger Säure im Vergleich mit der ganzen Säuremenge finden. Das kann man sich theoretisch ableiten. Wir haben im vorhergehenden Abschnitt gesehen, daß die Verbrennung des Stickstoffes zu nitrosen Gasen nur bis zu einem von der Temperatur u. s. w. abhängigen Grade vor sich geht. Dann tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei dem die gleiche Menge von nitrosen Gasen durch den Funken zerstört als gebildet wird. Es betrage, wie wir als Beispiel annehmen wollen, in diesem Zustand der Gehalt der Luft an nitrosen Gasen 15%, der Rest, d. h. der weitaus größte Teil der Luft, sei noch als freier Stickstoff und Sauerstoff vorhanden. Eine weitere Einwirkung des Funkens bringt dann keine Erhöhung des Gehaltes an nitrosen Gasen mehr zustande. Wohl aber findet noch eine Einwirkung des Funkens auf den noch vorhandenen freien Sauerstoff statt, der unter dem Einfluß des Funkens in die allotrope Form, das Ozon, übergeht. Sofort aber, nachdem sich Ozon gebildet hat, wirkt es schon auf die salpetrige Säure ein und verwandelt sie in Salpetersäure. Dabei geht es selbst wieder in inaktiven Sauerstoff über, der unter dem Einfluß des Funkens von neuem in Ozon umgewandelt wird. So geht das Spiel immer weiter, bis auch hier ein gewisser Gleichgewichtszustand eintritt. Wann dieser erreicht wird, mit anderen Worten, wann keine Oxydation der salpetrigen Säure mehr stattfindet, können wir nicht genau sagen. Auf jeden Fall aber müßten wir bei längerem Betrieb einer Luftfunkenstrecke aus theoretischen Gründen eine prozentuale Verminderung des Gehaltes an salpetriger Säure finden. Um dies nachzuweisen, können wir uns genau der gleichen Methode bedienen wie bei der Bestimmung des Gehaltes der Gesamtsäure an salpetriger Säure. Wir brauchen nur die Versuchsröhre immer längere Zeit zu betreiben und können dann das Verhältnis von Gesamtsäure zu salpetriger Säure berechnen. Hier die so gewonnenen Werte:

Tabelle VII.

Mil.-Amp.-Min.	Angewend. $^1/_{10}$ Norm. NaOH	Verbr. $^1/_{10}$ Norm. H_2SO_4	Verbr. $^1/_{10}$ Norm. $KMnO_4$	Berechn. HNO_2	Gefund. HNO_2	% Gehalt an Salpetrigs.
5.0	100 ccm	25: 2.85ccm	25 : 2.9 ccm	0.0536 g	0.0272 g	50.9 %
5.3	300 „	25: 1.00 „	25 : 1.00 „	0.0564 „	0.0282 „	50.0 %
6.0	100 „	25: 3.25 „	25 : 3.20 „	0.0611 „	0.0301 „	49.2 %
6.9	100 „	25: 3.80 „	25 : 3.75 „	0.0715 „	0.0353 „	49.5 %
8.0	100 „	25: 4.10 „	25 : 4.00 „	0.0771 „	0.0376 „	48.7 %
8.1	200 „	25: 2.10 „	25 : 2.05 „	0.0790 „	0.0385 „	48.8 %
10.0	200 „	25: 2.30 „	25 : 2.20 „	0.0865 „	0.0414 „	47.8 %
14.0	100 „	25: 5.95 „	25 : 5 70 „	0.1119 „	0.0514 „	45.8 %
20.0	100 „	25: 7.60 „	25 : 7.30 „	0.1429 „	0.0623 „	43.7 %
40.0	100 „	25:11.50 „	25 : 9.30 „	0.2162 „	0.0874 „	40.4 %

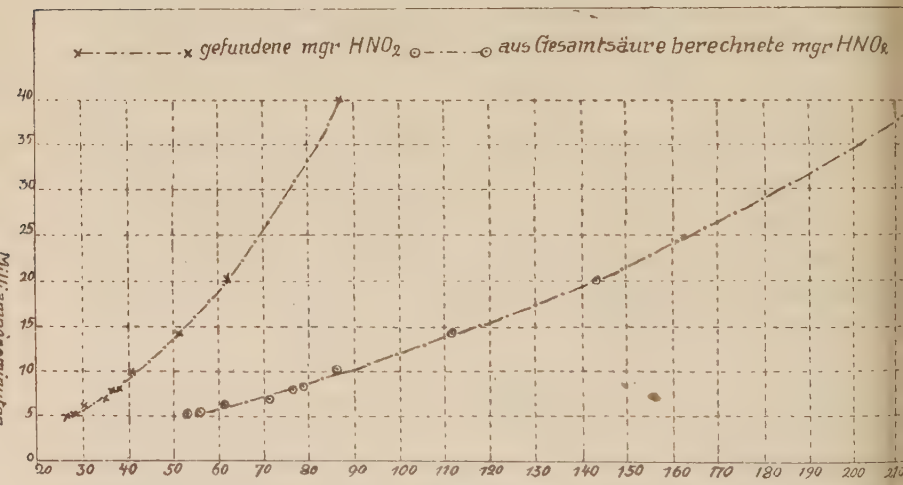
Milliampère-Minuten = Zeit × 2 Milliampère (für alle Werte konstant).

Vergleichen wir die in der vorstehenden Tabelle aufgeführten Prozentzahlen näher miteinander, so fällt uns auf, daß mit steigender Milliampèreminutenzahl der Gehalt der gebildeten Gesamtsäure an salpetriger Säure prozentual kleiner wird, ein Verhalten, das unserer theoretisch abgeleiteten Annahme vollständig Recht gibt. Wir müssen unbedingt annehmen, daß dieses Sinken des prozentualen Gehaltes an salpetriger Säure auf ihre Oxydation durch das bei der dunklen elektrischen Entladung entstandene Ozon zurückzuführen ist. Außer diesem chemischen Nachweis für das Vorhandensein einer dunklen elektrischen Entladung beim Betrieb einer Funkenstrecke mit Induktionsströmen finden wir in der Tabelle auch noch eine gewisse Ergänzung zu den Gesamtsäurebestimmungen in Tabelle IV, und zwar bis zu einer Betriebszeit von 20 Minuten bei 5 Milliampère Betriebsstromstärke. Schon ein flüchtiger Blick zeigt uns, daß bei dieser Betriebszeit der Gleichgewichtszustand zwischen Produktion und Destruktion noch nicht eingetreten ist. Noch anschaulicher aber wird dies, wenn wir die in der Tabelle enthaltenen Werte in Form einer Kurve aufzeichnen, und zwar so, daß in die Abszisse die Werte für die gefundene Gesamtsäure bezw. salpetrige Säure und in die Ordinate die Werte für die zugehörigen Milliampèreminuten eingetragen werden.

Wir erhalten so zwei Kurven, aus denen wir wieder ersehen können:

1. daß sowohl die Menge der Gesamtsäure als auch die Menge der salpetrigen Säure zuerst rasch, dann immer langsamer zunimmt; daß aber die Zunahme der Menge der Gesamtsäure immer in stärkerem Maße erfolgt als die Zunahme der Menge der salpetrigen Säure;

2. daß sich die Salpetrigsäurekurve viel schneller dem Gleichgewichtszustande nähert als die Gesamtsäurekurve.



Kurve II.

Was nun die Beurteilung der Menge der Gesamtsäure betrifft, so müssen wir feststellen, daß die Menge der gebildeten Säure im Verhältnis zu der aufgewendeten Energie sehr gering ist. Drücken wir z. B. die Menge des verbrannten Stickstoffs nach einem Betrieb von 10 Minuten in Prozenten der angewendeten Luft aus, so finden wir:

Inhalt der Versuchsröhre: 2615 ccm Luft. Darin sind enthalten 2.6031 g Stickstoff und 0.7780 g Sauerstoff. Von dem Stickstoff sind (aus der Menge der gebildeten Gesamtsäure berechnet) 0.04257 g verbrannt worden. Das sind 1.635%.

Aus dieser Berechnung der Prozentzahl des verbrannten Stickstoffs gewinnen wir auch einen Einblick darin, daß die Zunahme der Gesamtsäure bei längerer Betriebsdauer nicht proportional

er angewendeten Zeit erfolgt, sondern viel langsamer. Es müßten, um ein Beispiel auszuführen, wenn die Zunahme der Säuremenge proportional der Zeit erfolgen würde, die Menge des verbrannten Stickstoffs nach 20 Minuten Betrieb das doppelte derjenigen nach 10 Minuten Betrieb betragen; das wären 4.27 %. Das ist aber nicht der Fall, was wir erkennen, wenn wir aus den gefundenen Werten die Prozentzahl berechnen. Denn dann finden wir, daß nur 2.47 % des gesamten Stickstoffs verbrannt sind.

. Zusammenfassung der Ergebnisse bei der Bestimmung der Gesamtsäure und der salpetrigen Säure.

Fassen wir unsere Ergebnisse kurz zusammen, so können wir feststellen:

Beim Betrieb einer Funkenstrecke in einem geschlossenen Luftraum bilden sich nitrose Gase, und zwar zuerst das Stickstoffmonoxyd, das aber mit dem noch vorhandenen Luftsauerstoff reagiert und in Stickstoffdioxyd übergeht. Dieses Stickstoffdioxyd hat die Eigenschaft, daß es zu einem von der Temperatur, dem Druck u. s. w. abhängigen Prozentsatz in das Stickstofftetroxyd übergeht. Stickstofftetroxyd wiederum reagiert mit Wasser unter Bildung von gleichen Teilen salpetriger Säure und Salpetersäure. So die chemischen Vorgänge bei relativ kurzer Einwirkung des Funkens auf die Luft. Dies ist auch der Vorgang bei der Darstellung der Salpetersäure aus Luft, nur daß man da im Interesse einer ökonomischen Ausbeute nicht den Funken, sondern den elektrischen Lichtbogen anwendet, der durch besondere Vorrichtungen (Erzeugung des Lichtbogens in einem magnetischen Kraftfeld) noch vergrößert wird. Bei längerer Einwirkung des Funkens auf die Luft bezw. auf die gebildeten nitrosen Gase gehen die Stickstoffoxyde durch das gleichzeitig erzeugte Ozon in Salpetersäureanhydrid über. Das Vorhandensein und die Menge des freien Salpetersäureanhydrids wurde nicht direkt nachgewiesen, ergibt sich aber aus dem prozentualen Überwiegen der Salpetersäure nach längerem Funkendurchgang mit aller Deutlichkeit.

V. Welche Folgerungen können wir aus den vorstehenden Ergebnissen ziehen in bezug auf die Luftveränderungen beim praktischen Röntgenbetrieb?

Über die Gesamtmenge der zu erwartenden salpetrigen Säure haben wir in dem Abschnitt „Säurebildung bei der Luftstickstoffverbrennung“ unsere Berechnungen angeführt. Was die prozentuale Zusammensetzung der nitrosen Gase, speziell den Gehalt an salpetriger Säure angeht, so haben wir uns erst darüber zu entscheiden, ob wir das Röntgenzimmer als einen geschlossenen oder als einen offenen Raum betrachten wollen. Wir haben ja oben gesehen, daß zwischen dem geschlossenen und dem offenen Raum weitgehende Unterschiede bestehen. In dem letzten Fall, der Funkeneinwirkung im offenen Raum, hatten wir festgestellt, daß wir es da infolge des beständigen Luftwechsels mit einer nahezu ausschließlichen Bildung von Stickstoffmonoxyd bezw. Stickstoffdioxyd zu tun hatten, daß sich also unter diesen Umständen die salpetrige Säure zu 50 % in der Gesamtsäure findet. Anders liegen die Verhältnisse, wenn wir annehmen, daß das Röntgenzimmer als ein geschlossener Raum zu betrachten sei. Dann hätten wir eine Einwirkung des Ozons, das sich bei jedem Funken und an allen Hochspannungsleitungen bildet, auf das Gasgemisch anzunehmen, in dem Sinne, daß wir da eine prozentuale Abnahme an salpetriger Säure finden müßten. Die Entscheidung ist in diesem Falle sehr schwer. Es hat ein gut Teil Gründe für sich, wenn wir die Röntgenzimmerluft als Luft eines offenen Raums betrachten (beständige Erneuerung der Luft durch die natürliche und die maschinelle Ventilation); andererseits könnte man sich auch mit Grund für die andere Annahme entscheiden. Wir wollen gleich unsern Standpunkt klarlegen. Einmal sind ja, selbst wenn wir annehmen, daß wir den Funken in einem geschlossenen Raum übergehen lassen, die Verhältnisse zwischen Funken und Luft ganz andere als im Versuchsrohr. Hier haben wir die Einwirkung eines großen Funkens auf eine relativ kleine Luftmenge, dort sehen wir, daß die Funkengröße im Verhältnis zu dem Luftraum sehr gering ist. Da nun durch die natürlichen Luftströmungen, die wir in jedem Zimmer finden, immer neue Luftteile an die Funkenstrecke gebracht werden, so erscheint uns die Annahme durchaus berechtigt, daß die

Funkeneinwirkung auf die Röntgenzimmerluft der des Funkens auf den offenen Luftraum entspricht. Wir hätten also zu erwarten, daß der Prozentgehalt der Röntgenzimmerluft an salpetriger Säure ca. 50% beträgt. Nun müssen wir aber doch bedenken, daß die Verhältnisse in der Röntgenzimmerluft viel komplizierter sind als die bei der Versuchsfunkenstrecke. Den Versuch können wir so einrichten, daß wir ganz übersichtliche Verhältnisse bekommen. Im Röntgenzimmer aber ist der Prozentgehalt der Luft an salpetriger Säure noch von verschiedenen anderen Faktoren abhängig. Bei der Versuchsfunkenstrecke haben wir nur eine sehr geringe Menge Ozon zu erwarten, eine Ozonmenge, die durch die dunkle elektrische Entladung, die im Augenblick vor der eigentlichen Funkenentladung in der Luft vor sich geht, produziert wird. Diese Menge ist leicht meßbar. Beim eigentlichen praktischen Röntgenbetrieb aber haben wir doch auch noch mit anderen Ozonquellen zu rechnen. Das sind die Ozonmengen, die durch die dunklen elektrischen Entladungen an und zwischen den Drahtleitungen auf ihrer ganzen Erstreckung entstehen. Ohne hier die Resultate, die wir bei diesbezüglichen praktischen Untersuchungen erhalten haben, anführen zu wollen, können wir sagen, daß diese Mengen so groß sind, daß sie sicher eine tiefgehende Umstimmung in dem Salpetrigsäureprozentgehalt mit sich bringen müssen. Wir haben also gefunden: Die Menge der salpetrigen Säure wird herabgesetzt 1. durch das an der Funkenstrecke selbst auftretende Ozon, 2. durch das infolge der dunklen elektrischen Entladungen entstehende Ozon. Wie groß dieser durch die unter 2. genannten Ozonmengen bedingte Prozentsatz an oxydierter salpetriger Säure ist, kann man nicht direkt bestimmen.

VI. Die Unhaltbarkeit der Annahme einer Vergiftung mit nitrosen Gasen im Röntgenzimmer.

1. Das Vorkommen der salpetrigen Säure und ihrer Salze in der normalen Luft.

Als Produkt vieler Oxydationsvorgänge findet sich die salpetrige Säure neben Salpetersäure in freier Form und in der Form von Salzen, besonders als Ammoniumnitrit, in der Luft und aus ihr absorbiert im Regen- und im Schneewasser. Die

ersten genauen Untersuchungen über die Mengenverhältnisse, in denen die salpetrige Säure in der gewöhnlichen Luft sich findet, verdanken wir Chabrier (14), der feststellte, daß der Gehalt der Luft an salpetriger Säure nach der Jahreszeit schwanke, und zwar so, daß im Winter und Frühjahr hauptsächlich salpetrige Säure bezw. ihre Salze, im Sommer hauptsächlich Salpetersäure bezw. deren Salze vorhanden sind. Auch fand er, daß bei ruhiger Luft der Gehalt an salpetriger Säure, bei Stürmen der Gehalt an Salpetersäure überwiegt. Goppelsröder (15) beschäftigte sich ebenfalls eingehend mit der vorliegenden Frage, besonders im Hinblick auf die Abhängigkeit des Gehalts an Salpetersäure von der Jahreszeit. Auf die Methoden, die er anwendete, wollen wir hier nicht näher eingehen, sondern uns damit begnügen, einige der von ihm gewonnenen Werte anzuführen.

Tabelle VIII.

Monat	Gesamtmenge der Niederschläge in mm Regenhöhe	Minimum des Gehaltes in 1 Million Teile d. atmos. Niederschläge		Maximum des Gehaltes in 1 Million Teile d. atmos. Niederschläge	
		N_2O_5	$NH_4 \cdot NO_3$	N_2O_5	$NH_4 \cdot NO_3$
Okt. 70	101.3	Spur	Spur	13.6 Tle.	20.1 Tle.
Nov.	123.9	0.5 Tle.	0.7 Tle.	1 2	1.8
Dez.	91.2	0.4	0.6	5.3	7.8
Jan. 71	37.4	3.1	4.6	5.3	7.8
Febr.	38.5	2.2	3.2	4.4	6.5
März	27.5	2.6	3.8	12.3	18.2
April	107.4	2.2	3.2	4.6	6.8
Mai	41.3	2.2	3.2	10.0	14.8
Juni	114.3	2.3	3.2	6.3	9.1

Im Jahr 1889 veröffentlichte dann Ilosvay de Ilosva (16) seine Arbeiten über das Vorkommen der salpetrigen Säure im Zusammenhang mit Untersuchungen, die er über die langsame und die rasche Verbrennung angestellt hatte. Er bestimmt dabei die in der Luft enthaltene Menge salpetriger Säure nicht direkt, sondern geht so vor, daß er die auf den Blättern von Sträuchern niedergeschlagenen Mengen dieser Säure mißt. Dabei ergab sich, daß die Menge, die sich nachts niedergeschlagen hatte, am größten war, daß sich dagegen unter Umständen mittags und

bends gar keine Säure nachweisen ließ, und zwar wurde im Verauf der weiteren Untersuchungen festgestellt, daß die salpetrige äure nur dann vorhanden war, wenn feuchtes Wetter bestand nd der Himmel bewölkt war. Ferner zeigte sich, daß Boden, er durch Ausglühen von jeder stickstoffhaltigen Substanz bereit war, schon kurze Zeit, nachdem er der Luft ausgesetzt ewesen, wieder einen Gehalt an salpetriger Säure aufwies, er nur aus der Luft stammen konnte. Auch wurde geinden, daß der Gehalt der Luft an salpetriger Säure mit zuehmender Höhe der Luftschicht wachse. Hayhurst und Norıann Pring (17), die ihre Untersuchungen 1897 veröffentchten, stellten dagegen fest, daß diese Zunahme der salpetrigen äure mit wachsender Höhe nicht für sehr große Höhen gelte, ondern daß in größerer Höhe der Ozongehalt der Luft, der an er Oberfläche des Erdbodens unter der Grenze der Nachweisarkeit liegt, immer größer werde und z. B. in der Höhe von 1 engl. Meilen 0.12—0.3 mg Ozon in 1 cbm Luft betrage. Die lenge der Stickoxyde bleibt in dieser Höhe weit hinter den ozonmengen zurück.

. Der Nachweis und die Bestimmung der salpetrigen Säure in der Luft.

Für die kleinen Mengen von N_2O_3, die man gewöhnlich in der uft findet, kommen die maßanalytischen und gasvolumetrischen lethoden, die sonst zur Bestimmung der salpetrigen Säure anewendet werden, nicht in Betracht. Es bleiben also nur noch ie kolorimetrischen Methoden übrig, und von diesen auch eigentch nur eine: der Nachweis mit dem Grieß schen Reagens. Jodärkelösung oder Jodstärkepapier lassen sich wegen der Labilität er blauen Jodstärke nicht gut zur quantitativen Bestimmung erwenden. Auch die Arsenigesäuremethode ist nicht empfindch genug und ebenfalls in ihren Ergebnissen nicht ganz eineutig, ebenso wie viele andere empfohlene organische Präpaıte nicht zuverlässig genug sind, und so bleibt eigentlich nur ie Bestimmung mit Sulfanilsäure und α-Naphtylamin übrig. iese Methode, die von Peter Grieß für die Bestimmung der ılpetrigen Säure im Trinkwasser ausgebaut und empfohlen orden war, gründet sich auf die Bildung von Azofarbstoffen. ie hat noch den Vorteil der Spezifizität für sich, da ja die

Azofarbstoffe sich nur bei der Gegenwart von salpetriger Säure bilden können. Nur einen Fehler für die allgemeine Anwendung hat die Methode, das ist die überaus große Empfindlichkeit. Gerade die extreme Empfindlichkeit der Reaktion erheischt eine sehr strenge Kritik bei ihrer Verwendung, damit man nicht zu Trugschlüssen gelangt. Es genügt durchaus nicht, wenn man nach der Methode von Lorey (8) sich damit begnügt, durch die Hervorrufung einer Rotfärbung mit dem Grießschen Reagens die salpetrige Säure nachgewiesen zu haben, sondern hier entscheiden nur quantitative Bestimmungen, und diese fehlen in der ganzen doch jetzt schon etwa 10 Publikationen umfassenden Literatur über Röntgengasvergiftung.

3. Die in der Röntgenzimmerluft wirklich enthaltenen Mengen an salpetriger Säure.

Zur Beurteilung der Verunreinigung eines Luftraumes oder eines Zimmers genügt es für den, der den Raum nicht kennt, nicht, wenn er nur weiß, daß so und so viel Prozent der verunreinigenden Gase in der Luft enthalten sind. Er muß auch die Lüftungsverhältnisse, den Rauminhalt und die in Betrieb befindliche Apparatur kennen. Wir haben deshalb in folgender Tabelle alles Wissenswerte über die hiesigen räumlichen Verhältnisse der Röntgenzimmer, über die Apparate u. s. w., so wie sie zur Zeit der Versuche in Betrieb waren, zusammengestellt (s. nebenstehende Tabelle IX).

Bemerken möchten wir noch, um unsere Angaben zu vervollständigen, daß die Zimmer nur getüncht sind, und daß sie bei der Entnahme der untersuchten Luftproben nicht gelüftet worden waren.

Das erste, was wir bei Beginn der Arbeit unternahmen, war, daß wir destilliertes Wasser aus verschiedenen hiesigen Bezugsquellen mit dem nach der Vorschrift von Treadwell (18) genau hergestellten Grießschen Reagens prüften. Daß sich dabei, trotzdem wir 6 verschiedene Proben untersuchten, bei allen eine deutliche positive Reaktion zeigte, war gut, denn aus diesem Befund konnten wir entnehmen, wie schwer es ist, ein von salpetriger Säure vollständig freies Wasser zu erhalten. Wir mußten uns nun vor allem ein absolut einwandfreies destilliertes Wasser herstellen; dabei verfuhren wir folgendermaßen: Gewöhn-

Tabelle IX.

Apparat	Röhre	Betriebsspannung	Raumgröße	Fenster	Türen	Drahtlänge	Besonderes
2 Symmetrieapparate	2 Siederöhren	je 38 cm	280 cbm	3 × 8 qm	1 × 6 qm	an beiden Apparaten zusammen 2 × 8 m	Zimmer 1, 2 u. 3 sind durch Türen von 7 qm beständig miteinander verbunden.
Symmetrieapp.	1 Siederöhre	40 cm	175 cbm	1 × 8 qm		2 × 4 m	
Symmetrieapp.	1 Siederöhre	40 cm	210 cbm	2 × 8 qm	1 × 3 qm	2 × 4 m	
Doppel-Intensiv-Veifaapparat in Schrank		40 cm	202 cbm	1 × 10 qm	1 × 4 qm	3 × 2 m	Strombereitungsraum und Bestrahlungsraum sind ganz voneinander getrennt. Strom durch Glasplatten mit Porzellantüllen durchgeführt.
Siemens-Hochspannungsapparat	3 Coolidgeröhren A. E. G.	40 cm	275 cbm	1 × 10 qm	1 × 4 qm	3 × 3 m	

ches destilliertes Wasser, das eine schwache positive Reaktion egeben hatte, wurde mit Natronlauge versetzt, die zur Zerlegung on etwa vorhandenem Natriumnitrit in 20 % Lösung mit Hilfe on Nickelelektroden 6 Stunden elektrolysiert worden war, mit ieser Natronlauge sehr gut durchgeschüttelt und dann unter eiterem häufigen Durschütteln 5 Stunden stehen gelassen. Nach erlauf dieser Zeit wurde das Wasser destilliert, die ersten 100 nd die letzten 200 ccm des Destillats verworfen. Dieses so erltene schon sehr reine Wasser wurde ohne weiteren Zusatz

noch einmal destilliert, ebenfalls unter Verwerfung der ersten und der letzten Anteile. Hierauf wurde zum Zweck der Reinheitsprüfung eine Probe des gereinigten Wassers mit verdünnter Schwefelsäure versetzt und wieder der Destillation unterworfen. Der zuerst übergehende Anteil, der naturgemäß die größte Menge salpetriger Säure enthalten müßte, wurde mit Grieß schem Reagens versetzt und bei 70 Grad $^1/_4$ Stunde stehen gelassen. Zeigte sich dann nicht die Spur einer Rotfärbung, so wurde das Wasser, von dem diese untersuchte Probe stammte, zu den Untersuchungen verwendet. Zeigte sich aber nur die leiseste Andeutung einer Rotfärbung, so wurde das ganze Wasser nochmals, wie soeben beschrieben, mit Natronlauge behandelt. Es war dies allerdings ein Verfahren, das sehr viel Zeit beanspruchte. Zur Herstellung eines Liters von dem ganz reinen Wasser brauchten wir ungefähr einen Tag, und dabei waren für die Versuche im ganzen ungefähr 35 Liter reinsten destillierten Wassers erforderlich, aber der Mehraufwand an Arbeit wurde reichlich wettgemacht durch die Sicherheit, mit der man sich auf die mit unseren Lösungen gewonnenen Zahlen verlassen konnte. Nicht zu betonen brauchen wir wohl, daß wir auch zu der Herstellung des Grießschen Reagens, der Vergleichsnatriumnitritlösungen und der Lösungen, mit denen die Absorption der salpetrigen Säure vorgenommen wurde, das gereinigte Wasser ausschließlich verwendeten. Im ganzen hielten wir uns genau an die bei Treadwell zu findende Beschreibung der kolorimetrischen Methode, nur in bezug auf die Gewinnung der zu untersuchenden Lösungen wollen wir unser Verfahren noch mitteilen. Vorversuche hatten ergeben, daß man, um genaue Werte zu erhalten, nicht mit Luftmengen unter 3 Litern arbeiten durfte, wollte man nicht mit den gewonnenen Zahlen in den Bereich der in der Methode liegenden Fehlergrenzen gelangen. Luftmengen von 550 ccm z. B., wie sie Lorey anwendet, gaben mit dem Reagens so geringe Färbungsdifferenzen, wenn die Vergleiche in demselben Raum bei verschiedenen Tageszeiten vorgenommen werden sollten, daß eine genaue Unterscheidung nicht mehr möglich war. Wir haben deshalb noch, um ganz sicher zu gehen, die Luftmengen, die wir untersuchten, auf 6 Liter und zum Zweck der Genauigkeitskontrolle auch vorübergehend auf 13 Liter vergrößert. Da sich aber dabei herausstellte, daß auch

bei Verwendung so großer Gefäße die Werte voneinander nicht mehr abweichen, so haben wir im Hinblick auf die viel leichtere Anwendungsweise unsere Versuchsreihen mit den Sechsliterflaschen durchgeführt. Diese Flaschen bestanden zur Vermeidung einer etwa möglichen Zersetzung der Gasgemische durch das Tageslicht aus braunem Glase und wurden vor Beginn der Versuche 1 Stunde lang mit strömendem Wasserdampf behandelt. Das Kondensat aus den Flaschen wurde aufgefangen und gegen das Grießsche Reagens geprüft. Die Probe fiel negativ aus. Eine Abgabe von Salpetrigsäureionen aus der Glaswand war also auszuschließen. Die so geprüften Flaschen wurden vor Beginn jedes Versuches zuerst mit heißem gewöhnlichem, dann dreimal mit destilliertem und hierauf noch dreimal mit dem wie oben beschrieben gereinigten Wasser ausgespült und dann sofort im Sterilisationsschrank bei 110 Grad getrocknet. Noch heiß aus dem Ofen herausgenommen, wurde jede Flasche sofort durch einen mit Stanniol geschützten Korkstopfen, der eine Natronkalkröhre trug, verschlossen. Infolge der Sicherung durch Natronkalk konnte nur säurefreie Luft in die Flaschen dringen. Nach Verlauf von zwei Stunden, d. h. nachdem die Flaschen sicher die Umgebungstemperatur angenommen hatten, wurden die Korkstopfen durch gut passende, doppelt durchbohrte Gummistopfen ersetzt, deren Bohrungen die Gaszuleitungs- und -ableitungsröhren trugen. Nun erst brachten wir die Flaschen in den Raum, dessen Luft untersucht werden sollte, legten eine Gaede-Kapselpumpe an und saugten die Luft in ziemlich raschem Tempo durch die Flaschen. Nach Verlauf dieser Zeit wurden die Gummistopfen entfernt, die Flaschen mit den eingeschliffenen, des besseren Abschlusses halber wasserbefeuchteten Glasstopfen fest verschlossen und nunmehr in das Untersuchungslaboratorium verbracht. Wir halten dieses „trockene" Verfahren für besser als das von Lorey angewendete, da bei diesem durch Absorption von seiten der Wasserfüllung der Flasche Fehler in die Resultate gebracht werden können.

Zur Bestimmung der salpetrigen Säure ist deren Überführung in eine Lösung der erste Schritt. Von dem Gedanken geleitet, daß die Absorption einer so geringen Gasmenge eine ganz vollständige sein müsse, wollte man nicht einen zu großen Versuchsfehler bekommen, gingen wir folgendermaßen vor: In die

Flasche, die das zu untersuchende Gasgemisch enthielt, wurden zur Absorption der nitrosen Gase 50 ccm auf Salpetrigsäurefreiheit geprüfter selbstbereiteter $^1/_{10}$ Normal-Natronlauge gegeben, gut durchgeschüttelt und unter weiterem häufigen Durchschütteln 3 Stunden stehen gelassen. Durch Kontrollversuche hatten wir uns vorher schon überzeugt, daß diese Zeit zu einer vollständigen Absorption durchaus genügt, da schon nach einer halben Stunde eine Zunahme des Gehaltes an Säure in der Natronlauge nicht mehr zu konstatieren war. Der durch nicht ganz vollständige Absorption hervorgerufene Versuchsfehler betrug bei einer Zahl von fünf derartigen Vorversuchen nie mehr als 0.2—0.3 Promille von der Gesamtmenge der nitrosen Gase. Nachdem also die Natronlauge die angegebene Zeit in der Flasche belassen worden war, wurde sie ohne Nachspülen in einen ausgedämpften Erlenmeyerkolben gegossen und zu den quantitativen Bestimmungen verwendet. Zuvor aber mußten die Vergleichsnatriumnitritlösungen hergestellt werden. Von der genau nach der Vorschrift von Grieß bereiteten Natriumnitritlösung, von der also 1 ccm 0.01 mg N_2O_3 entsprach, wurden mit einer Mikropipette in eine Reihe von ausgesuchten, gleich weiten und ausgedämpften Reagensgläsern folgende Mengen gebracht:

0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 u. s. w. bis 1.45 ccm und mit reinstem destilliertem Wasser, wie folgt, zu 1.5 ccm ergänzt:

1.45 1.40 1.35 1.30 1.25 1.20 1.15 1.10 u. s. w. bis 0.05 ccm, so daß also bei der Zugabe des Grießschen Reagens die abzulesenden und untereinander zu vergleichenden Lösungen im Volumen genau gleich waren.

Jetzt erst wurde ebenfalls mit einer Mikropipette von der auf ihren Gehalt an salpetriger Säure zu untersuchenden Natronlauge, die also das durch Absorption der nitrosen Gase gebildete Natriumnitrit neben Natriumnitrat enthielt, 1 ccm abgemessen und wie die Vergleichslösungen mit reinem Wasser auf 1.5 ccm ergänzt.

Alle so vorbereiteten Reagensgläser wurden dann der Reihe nach in ein Gestell gebracht, das in ein mit 70 Grad heißem Wasser gefülltes Gefäß paßte, und sodann rasch in jedes Gläschen je 5 ccm des Grießschen Reagens aus einer Bürette ab-

gefüllt. Nachdem diese Gläschen unter häufigem Umschwenken zur Erzielung einer guten Durchwärmung $^1/_4$ Stunde in dem heißen Wasser verweilt hatten, wurden sie herausgenommen und das auf seine Farbintensität zu prüfende Reagensglas mit den skalenmäßig aufgestellten Gläsern von bekannten Nitritgehalt verglichen. Da das Vergleichen der Farbenintensitäten sehr von der Beleuchtung abhängt und im vorliegenden Fall nicht ganz leicht ist, so haben wir mit Vorteil eine kleine Vorrichtung benützt, die sich vielleicht bei ähnlichen kolorimetrischen Messungen wird anwenden lassen. In den schmalen Deckel eines kleinen, ungefähr 6 : 8 : 3 cm großen Pappkästchens bohrten wir mit einem Korkbohrer drei Löcher, die so groß waren, daß die Reagensgläser ohne Zwang durchgingen, und klebten in das innere des Kästchens zwei schwarze Papierstreifen wie Scheidewände so ein, daß die Reagensgläser lichtdicht voneinander getrennt waren. Jetzt blieb nur noch übrig in die Vorder- und Rückwand des Kästchens je drei Löcher entsprechend der Lage der Reagensgläser zu bohren, um so die Durchsicht zu erhalten. In die mittlere der für die Reagensgläser berechneten Öffnungen brachten wir das in seiner Farbenstärke zu bestimmende Röhrchen, zu beiden Seiten je eines von bekanntem Nitritgehalt, jedoch so, daß immer zwei aufeinanderfolgende Farbstärken verwendet wurden. Die ganzen Ablesungen erfolgten bei Tageslicht, indem das Kästchen vor eine gegen das Fenster gestellte Milchglasscheibe gehalten wurde. So gelang es leicht, zu dem mittleren Röhrchen die mit ihm übereinstimmende Farbenintensität herauszufinden. Aus dem bekannten Gehalt des Vergleichsröhrchens konnte dann die Menge der in der untersuchten Probe enthaltenen salpetrigen Säure berechnet werden. Zur Sicherheit wurde jede Ablesung doppelt vorgenommen.

Wir haben nach dieser Methode die Luft in den verschiedenen hier in Betrieb befindlichen Röntgenzimmern zu verschiedenen Tages- und auch Jahreszeiten, bei langer und nach kurzer Betriebsdauer, bei guter und bei schlechter Ventilation untersucht und sind dabei zu folgenden Resultaten gekommen. Auch hier wird es gut sein, wenn wir, statt die Versuche einzeln aufzuzählen und die Bedingungen, unter denen die Lösungen gewonnen wurden, im einzelnen zu schildern, alles Wissenswerte

wieder in einer Tabelle zusammenstellen, da dadurch die Übersicht über die Ergebnisse wesentlich erleichtert wird.

Tabelle X.

Versuchsnummer	Datum	Zimmer	Nach Stunden Betrieb	Fenster, Türen	Flaschengröße	Darin gefundene N_2O_3	In 1 000 000 ccm vorhandene HNO
1	14. 8. 17	1	5	geschlossen	6250 ccm	0.0625 mg	0.00619 g
2	15. 8. 17	1	2	geschlossen	6250 ccm	0.0501 mg	0.00495 g
3	24. 4. 18	1	8	geschlossen	6325 ccm	0.0550 mg	0.00538 g
4	25. 4. 18	1	8	geöffnet, geschl.	6325 ccm	0.0450 mg	0.00440 g
5	25. 4. 18	1	6	geöffnet, geschl.	6250 ccm	0.0375 mg	0.00371 g
6	15. 8. 17	2	8	geschlossen	6250 ccm	0.0450 mg	0.00445 g
7	29. 5. 18	2	7	geöffnet, geschl.	6250 ccm	0.0375 mg	0.00371 g
8	4. 5. 18	3	5	geschlossen	6325 ccm	0.0375 mg	0.00367 g
9	5. 5. 18	3	5	geöffnet, geschl.	6325 ccm	0.0325 mg	0.00318 g
10	13. 8. 18	5	7	geschlossen	6260 ccm	0.0325 mg	0.00321 g
11	8. 8. 18	5	5	geschlossen	6325 ccm	0.0251 mg	0.00245 g
12	15. 8. 18	5	3	geschlossen	6250 ccm	0.0251 mg	0.00248 g
13	18. 7. 18	5	4	geöffnet, geschl.	6325 ccm	0.0251 mg	0.00245 g
14	18. 7. 18	5	5	geöffnet, geschl.	6250 ccm	0.0251 mg	0.00248 g
15	6. 8. 18	4	5	geschlossen	6325 ccm	0.0450 mg	0.00440 g
16	7. 8. 18	4	5	geöffnet, geschl.	6250 ccm	0.0375 mg	0.00371 g
17	16. 8. 18	4	6	geschlossen	6250 ccm	0.0500 mg	0.00495 g
18	5. 6. 18	4	7	geschlossen	6325 ccm	0.0500 mg	0.00489 g
19	3. 6. 18	4	0	geschlossen	6250 ccm	0.0250 mg	0.00247 g

Diese Beispiele aus unseren Protokollen mögen genügen. Nun wollen wir uns näher mit den gewonnenen Resultaten beschäftigen, wollen ferner sehen, von welchen Einflüssen die Menge der gebildeten salpetrigen Säure abhängt.

Das erste, was uns schon bei der oberflächlichen Betrachtung auffällt, ist die bemerkenswerte Tatsache, daß die Werte, obwohl sie unter ganz verschiedenen Bedingungen gewonnen sind, doch nur geringe Differenzen aufweisen. Die größte Schwankung, die wir finden, besteht zwischen Wert Nr. 1 und Nr. 13, wobei wir bei der einen Untersuchung 0.00619 g und bei der anderen nur 0.00245 g HNO_2 in 1 cbm Zimmerluft fanden. Schon diese Tatsache allein beweist, daß die Bildungsverhältnisse der salpetrigen Säure nicht so ganz leicht zu überblicken sind. Es ist sicher, daß z. B. die Menge der gebildeten salpetrigen Säure

im Röntgenzimmer nicht der Zeit proportional zunimmt, da sonst bei längerem Betrieb viel größere Mengen von salpetriger Säure gefunden werden müßten, als es tatsächlich der Fall ist. Eine genauere Besprechung der einzelnen gefundenen Werte wird zeigen, mit welchen Faktoren man bei der Bildung der salpetrigen Säure im Röntgenzimmer rechnen muß.

Zimmer Nr. 1: Die Werte 1 und 2, miteinander verglichen, zeigen, daß bei gleichen Vorbedingungen in der Atmosphäre und Zimmerluft — die Zahlen sind an zwei aufeinanderfolgenden Tagen unter gleichen meteorologischen Verhältnissen gewonnen — die Menge der gebildeten salpetrigen Säure doch in einem gewissen, wenn auch geringem Maße von der Dauer des Apparatenbetriebs abhängt; ein Verhalten, das wir schon von vornherein erwarten können. Nicht mehr so eindeutig sind die Verhältnisse, wenn wir Wert 1 und 3 miteinander vergleichen. Hier scheint es zuerst gar nicht zu dem zu stimmen, was wir eben gefunden haben, wenn wir sehen, daß wir unter anscheinend gleichen Verhältnissen bei sogar längerem Betrieb (Nr. 3) eine geringere Menge salpetriger Säure finden als bei kürzerem. Doch dieser Widerspruch ist nur ein scheinbarer. Die atmosphärischen Bedingungen, unter denen die Zimmer an den beiden Tagen, dem 14. VIII. 17 und dem 24. IV. 18, standen, waren verschieden. Während an dem ersten Tage vollständige Windstille bestanden hatte, herrschte an dem zweiten Tage ein Wind von mindestens 4—6 Sekundenmetern, und dieser Wind hatte eine bessere Ventilation der Räume herbeigeführt. Noch deutlicher sehen wir den Einfluß der Ventilation bei den Werten 4 und 5, wobei wir allerdings bemerken müssen, daß wir unter Ventilation nur das Offenlassen der Fenster verstehen, da wir damals unsere Räume noch nicht künstlich entlüfteten. Wert 4 und 5 zeigen außerdem noch, wie groß die Genauigkeit ist, mit der sich solche Bestimmungen durchführen lassen. Den Einfluß der Ventilation sehen wir, wenn auch nicht so ausgeprägt wie eben, bei allen hierher gehörigen Versuchen. 6 und 7, 8 und 9, 15 und 16). Noch einen scheinbaren Widerspruch finden wir in den Zahlen der Werte 3 und 6. Wir sehen da, daß die Menge der gebildeten salpetrigen Säure im Zimmer 2 nur wenig hinter der im Zimmer 1 gebildeten zurückbleibt, obwohl doch, wie wir in der Tabelle Nr. 9 auf-

geführt haben, im Zimmer Nr. 1 zwei Aparate, im Zimmer Nr. 2 aber nur ein Apparat in Betrieb sind. Dieser Widerspruch ist aber, wie gesagt, nur scheinbar. Wir müssen uns daran erinnern, daß ja auch der Raum, in dem der Apparat steht (Zimmer Nr. 2) kleiner ist als Zimmer Nr. 1 (280:175 cbm), so daß die %-Menge der gebildeten salpetrigen Säure bei der Berechnung doch auf den gleichen Wert hinauskommt. Berechnen wir die Gesamtmenge der salpetrigen Säure im Zimmer Nr. 1 und im Zimmer Nr. 2, so finden wir mit großer Genauigkeit, daß die Menge im Zimmer Nr. 1 trotzdem fast doppelt so groß ist wie im Zimmer Nr. 2, ein Verhalten, das sich aus dem Vorhandensein zweier Röntgenapparate im Zimmer Nr. 1 erklärt. Es ergibt sich aus der einfachen Zusammenstellung schon ganz deutlich, daß wir in allen Zimmern eine Menge von salpetriger Säure nachweisen können, die nie unter 0.00371 g pro cbm sinkt, mit Ausnahme von Zimmer Nr. 5. Hier sehen wir eine merkwürdige Konstanz der gefundenen Werte, die sich auch durch Ventilation u. s. w. nicht wesentlich in ihrer Größe beeinflussen lassen, sondern fast immer nahezu auf dem Wert 0.00249 g HNO_2 pro cbm stehen bleiben. So auffallend diese Unbeeinflußbarkeit zu sein scheint, so ist sie doch sehr gut zu erklären. Sehen wir in der Tabelle nach, in der die Apparate und Zimmer beschrieben sind, so finden wir, daß sich im Zimmer Nr. 5 nur die Röhren befinden, aber kein Hochspannungsapparat, den wir als die Quelle der Luftverunreinigung anzusprechen gewohnt sind. Diese Resultate sind für uns auch in der Hinsicht besonders wichtig geworden, daß sie uns überzeugten, daß die Gefahr der Vergiftung mit nitrosen Gasen nie und nimmer so groß sein könne, als man bisher immer annahm. Wir waren von diesen Resultaten um so mehr überrascht, als wir bei Abwesenheit aller Apparate, die die Luft verunreinigen könnten, doch die typischen „Gasvergiftungen“ auftreten sahen. Und dies führte uns dazu, auch die Luft in anderen Räumen als in den Röntgenzimmern nach der kolorimetrischen Methode zu untersuchen. Mit welchem Erfolg, darüber wollen wir in einem späteren Abschnitt berichten. Das ist in großen Zügen das, was man aus den Werten der Untersuchungen 1—18 entnehmen kann. Nur der Wert von Versuch 19 ist noch gesondert zu besprechen. Da finden wir in unserer Tabelle an-

gegeben unter der Rubrik „Nach Stunden Betrieb“: 0 Stunden. Dies will so viel sagen, daß wir die Luft zu dieser Untersuchung früh vor Beginn des Betriebes entnommen haben, und zwar nachdem die Fenster und die Türen in dem Raum die ganze Nacht nach einem Betrieb von 7 Stunden am Vortage geschlossen gehalten worden waren. Dabei fanden wir eine Menge von 0.00247 g salpetriger Säure im cbm, eine Zahl, die ganz auffallend mit den für Zimmer 5 gefundenen Werten übereinstimmt. Hier müssen wir uns nun in unserer Beurteilung dieser Übereinstimmung entscheiden, und dabei bleiben uns nur zwei Möglichkeiten. Die eine Annahme wäre die, daß die durch den Betrieb am Vortage entstandene Menge salpetriger Säure sich die Nacht über ziemlich unverändert in dem Raum gehalten hat; die zweite und wahrscheinlichere dagegen die, daß sich die Luft in dem Zimmer die Nacht über völlig erneuert hat, daß, kurz gesagt, die in der Luftprobe der Untersuchung 19 enthaltene Menge salpetriger Säure nicht gegen den normalen Gehalt vermehrt ist. Was die erste Annahme betrifft, so würden wir uns damit in strikten Gegensatz zu anerkannten hygienischen Untersuchungen setzen, bei denen ja bekanntlich gefunden wurde, daß sich die Luft in einem Raum teils durch die Wände hindurch, teils durch die Tür- und Fensterspalten hindurch in verhältnismäßig kurzer Zeit vollkommen erneuert. Wir müßten nach diesen Untersuchungen annehmen, daß die Zeit von nahezu 14 Stunden genügen muß, um die Lufterneuerung herbeizuführen. Bleibt uns also nur die Annahme, daß auch in der normalen Luft so viel salpetrige Säure enthalten ist, daß man diese Mengen nach der kolorimetrischen Methode als so groß, wie oben angegeben, finden würde. Die Möglichkeit, daß man zu dieser Erklärung kommen müßte, zwang uns, da in der uns zugänglichen Literatur über den wahren Gehalt der freien Luft an salpetriger Säure keine bestimmten Zahlen vorhanden waren, selbst diese Untersuchungen vorzunehmen. Sollte sich ergeben, daß jene Mengen oder wenigstens ähnlich große sich in der Luft fänden, so würde ja die Annahme der Gasvergiftung im Röntgenzimmer durch die salpetrige Säure sich von selbst verbieten. Aber selbst wenn die bei diesen Untersuchungen gefundenen Werte weit unter den für die Röntgenzimmerluft gewonnenen blieben, so wäre dies noch kein Beweis dafür, daß

die Erscheinungen bei den Bestrahlern auf die Einwirkung der salpetrigen Säure zurückzuführen seien. Denn abgesehen von dem schon bei der Beschreibung der Krankheitssymptome ausdrücklich hervorgehobenen absoluten Fehlen der Erscheinungen von seiten des Respirationstraktus, gibt es doch eine Art von Beschäftigung, bei der eine unzweifelhaft viel intensivere Berührung mit den nitrosen Gasen stattfindet, ohne daß sich dabei die bei den Bestrahlern zu beobachtenden Erscheinungen finden, das ist die Beschäftigung in chemischen Werken und in chemischen Laboratorien. Es ist doch kein Zweifel, daß, selbst wenn wir von den Betrieben, in denen vorwiegend mit nitrosen Gasen gearbeitet wird, absehen, schon die Tätigkeit in einem gewöhnlichen chemischen Laboratorium zu einer viel intensiveren Berührung mit salpetriger Säure führt, als dies im Röntgenbetrieb je der Fall sein kann. Wir haben deshalb, um noch einen Beweis für die Berechtigung unseres Standpunktes zu gewinnen, auch die Luft in chemischen Laboratorien untersucht und sind dabei zu ganz überraschenden Resultaten gekommen. Zuerst aber wollen wir wieder in Tabellenform einige Zahlen bringen, die wir bei der Untersuchung der gewöhnlichen hiesigen Luft aufgefunden haben. Zur Erleichterung eines direkten Vergleichs sowohl mit der obigen Tabelle als auch mit der Tabelle VIII sind die Werte, die wir fanden, einmal in g HNO_2 in 1 cbm Luft und außerdem in Volumteilen HNO_2 in 1000000 Volumteilen Luft angegeben.

Tabelle XI.

Datum	Gewöhnliche Außenluft	Flaschengröße ccm	In 1 cbm gefundene HNO_2	In 1000000 Teilen Luft enthaltene Teile HNO_2
14. 5. 18	„	6325	0.00213 g	1.65
21. 5. 18	„	6250	0.00247 g	1.91
8. 7. 18	„	6250	0.00259 g	2.01

Mit einem Blick schon können wir uns überzeugen, daß die so gefundenen Mengen an salpetriger Säure in gewöhnlicher, nicht gereinigter Luft sehr nahe an die im Zimmer 5 (ohne Apparate) und an die nach einer betriebsfreien Pause von 14 Stunden im Zimmer Nr. 4 gefundenen Werte herankommen.

Übertrifft mithin der HNO_2-Gehalt der Röntgenzimmerluft während einer Betriebspause den entsprechenden Gehalt der

Außenluft nur um ein Geringes, so fragt sich nunmehr: Wie steht es mit dem HNO_2-Gehalt der Luft in chemischen Laboratorien?

Die daraufhin vorgenommenen Untersuchungen der Laboratoriumsluft wurden nach derselben Methode ausgeführt wie die der Röntgenzimmerluft. Wir wollen gleich jetzt schon die gefundenen Zahlen bringen und erst dann beschreiben, aus welchen Räumen die untersuchten Luftproben stammen.

Tabelle XII.

Nr.	Datum	Laboratorium	Flaschengröße ccm	Darin enthaltenes N_2O_3	In 1 cbm enthaltene HNO_2	In 1000000 Teilen Luft enth. Teile HNO_2
1	27. 5. 18	Allgem. Untersuchlab. d. Klinik	6325	0.0500 mg	0.00489 g	3.78
2	5. 6. 18	Ebendaselbst	6250	0.0500 mg	0.00495 g	3.83
3	4. 6. 18	Laboratorium im Kellergeschoß der Klinik	6325	0.0750 mg	0.00733 g	5.66
4	12. 6. 18	Ebendaselbst	6250	0.0750 mg	0.00743 g	5.74
5	18. 6. 18	Kleines chem. Laboratorium in der Klinik	6325	0.0625 mg	0.00611 g	4.73
6	18. 6. 18	Ebendaselbst	6250	0.0625 mg	0.00619 g	4.82
7	9. 7. 18	Chem. Staatslaboratorium in Erlangen vormittags	6325	0.1000 mg	0.00978 g	7.56
8	9. 7. 18	Ebendaselbst nachmittags	6250	0.1751 mg	0.01733 g	13.40
9	11. 7. 18	Ebendaselbst vormittags	6250	0.0875 mg	0.00866 g	5.60
10	11. 7. 18	Ebendaselbst nachmittags	6325	0.1875 mg	0.01824 g	14.11
11	17. 7. 18	Ebendaselbst vormittags	6250	0.1125 mg	0.01114 g	8.61
12	17. 7. 18	Ebendaselbst nachmittags	6325	0.3000 mg	0.02935 g	22.70
13	17. 7. 18	Ebendaselbst nachmittags	6250	0.3000 mg	0.02880 g	22.27

Bei der Besprechung der auf ihren Gehalt an salpetriger Säure untersuchten Räumlichkeiten wollen wir zunächst vorweg nehmen, daß in sämtlichen Räumen zur Zeit der Probeentnahme nicht speziell mit salpetriger Säure gearbeitet wurde. Alle in ihnen gefundenen Salpetrigsäuremengen sind beim normalen Betrieb in den Laboratorien teils wohl durch analytische Arbeiten, teils durch das Vorhandensein der Reagentien in die Laboratoriumsluft gelangt. In dem allgemeinen Laboratorium der Frauenklinik wurden zur Zeit der Entnahme vorwiegend mikroskopisch-chemische Untersuchungen vorgenommen. Auch in dem Laboratorium des Kellergeschosses und in dem kleinen Laboratorium befanden sich keine größeren Mengen von Salpetersäure oder gar salpetriger Säure, als für die laufenden Arbeiten eben gerade nötig war. Es ist unerläßlich, daß wir dies hervorheben, besonders wenn wir die erhaltenen Werte mit den bei der Untersuchung der Röntgenzimmerluft gewonnenen vergleichen. Wir sehen, daß schon in dem allgemeinen Laboratorium, in dem außer Harn- und ähnlichen Untersuchungen keine speziellen chemischen Arbeiten vorgenommen werden, sich die salpetrige Säure in fast eben so großen Quantitäten nachweisen läßt wie in der schlechtesten Röntgenzimmerluft. Noch viel größere Mengen an salpetriger Säure aber als bei Versuch 1 und 2 finden sich in den anderen Laboratoriumsräumen der Klinik. Zur Kontrolle wurden natürlich alle diese Untersuchungen doppelt gemacht. Wir haben aber aus unseren Versuchsprotokollen nur die Durchschnittswerte angeführt, um die Tabellen nicht gar zu groß zu machen.

Sind diese Mengen an nachgewiesener salpetriger Säure schon größer als die in der Röntgenzimmerluft gefundenen, so hat sich bei der Untersuchung der Luft in rein chemischen Laboratorien ein Gehalt an salpetriger Säure ergeben, der ein Vielfaches der eben besprochenen Werte erreichte. Was bei den Ergebnissen der Untersuchungen 7—13 besonders in die Augen springt, ist die Tatsache, daß in dem Gehalt der vormittags und in dem Gehalt der nachmittags entnommenen Luft sich ein so großer Unterschied zeigt. So finden wir z. B. nachmittags fast stets die 2—3fache Menge als vormittags. Die Erklärung ergibt sich aus den besonderen Verhältnissen in den Laboratorien. Es arbeiteten nämlich zu dieser Zeit vormittags

nur einige wenige Studierende, nachmittags dagegen betrug die Zahl der sich meist mit Analysen beschäftigenden Praktikanten bis zu 35. Daß die stärkere Verwendung von Salpetersäure u. s. w. am Nachmittag zu einer erhöhten Produktion von salpetriger Säure führt, ergeben ja eben unsere Bestimmungen. Vergleichen wir die so gefundenen Werte mit den in den Röntgenzimmern festgestellten, so zeigt sich, daß die nachgewiesenen Mengen an salpetriger Säure in den chemischen Laboratorien das 5—6fache der in den Röntgenzimmern vorhandenen betragen.

Was können wir aus den Ergebnissen folgern? Doch sicher das, daß, wenn die salpetrige Säure wirklich die Veranlassung für all die bei den Bestrahlern zu beobachtenden Erscheinungen oder doch wenigstens für einen Teil davon sein sollte, man diese Erscheinungen in gleicher oder ähnlicher Weise doch auch bei den in chemischen Laboratorien tätigen Personen finden müßte. Aber nichts von alledem. Weder ließen sich der Literatur irgendwelche Hinweise darauf entnehmen, noch konnten wir bei den von uns selbst untersuchten Personen irgendwie ähnliche Erscheinungen beobachten. Wir finden keine stärkeren Blutveränderungen, keine psychischen Erscheinungen, keine Kopfschmerzen und auch natürlich keine Kastrationserscheinungen. Wir selbst haben daraufhin ungefähr 20 Personen beobachtet und untersucht, aber nie etwas derartiges finden können. Und dabei ist die Luft, in der sich diese Personen aufhalten, viel stärker mit salpetriger Säure verunreinigt, als es die Luft in den Röntgenzimmern ist; im ganzen aber ist die Menge der vorhandenen salpetrigen Säure eben doch noch so gering, daß ein normaler Körper mit dieser Schädlichkeit fertig wird. Daß jedoch eine Einwirkung der in den chemischen Laboratorien vorhandenen Gase auf die darin beschäftigten Personen wirklich stattfindet, das beweist das Vorhandensein einer mehr oder minder starken entzündlichen, chronischen Rötung des Rachens. Wie weit diese aber durch die salpetrige Säure und wieweit durch die anderen reizenden gasförmigen Produkte in den Laboratorien verursacht wird, läßt sich nicht ohne weiteres ermessen, ist für uns auch gar nicht von Belang. Für uns ist nur die Tatsache von Wichtigkeit, daß trotz vermehrtem Vorhandenseins an salpetriger Säure keine der bei der „Röntgen-

gasvergiftung“ zu findenden Erscheinungen bei den in chemischen Laboratorien tätigen Personen nachzuweisen ist.

4. Die rechnerische Kontrolle des Salpetrigsäuregehaltes der Röntgenzimmerluft.

Der beste Beweis für die Richtigkeit unserer Bestimmungen wäre natürlich der, daß man aus der berechneten durch einen Funken erzeugten Menge an salpetriger Säure und der in der Luft schon an und für sich vorhandenen Menge die wirklich in den Röntgenzimmern nachgewiesene Menge an salpetriger Säure auch durch Rechnung finden könnte. Daß man dies tätsächlich mit großer Annäherung kann, soll an folgendem Beispiel bewiesen werden. In der Tabelle Nr. X haben wir bei Versuch 3 im Zimmer Nr. 1 (siehe Tabelle Nr. IX) den Gehalt eines cbm Luft an salpetriger Säure zu 0.00538 g bestimmt. Wie wir aber schon auf Seite 181 näher ausgeführt haben, können wir aus der durch einen einzigen Funken hervorgebrachten Menge an salpetriger Säure berechnen, daß sich nach 8 Stunden bei gleichzeitigem Betrieb von 2 Röntgenapparaten in einem Raum von 280 cbm Inhalt pro cbm 0.00151 g salpetriger Säure finden müßten. Bei der Bestimmung der in der gewöhnlichen hiesigen Luft vorhandenen Mengen an salpetriger Säure haben wir für den cbm 0.00259 g nachgewiesen. Wenn wir nun die an sich in der Luft vorhandenen und die durch den Betrieb der Röntgenapparate erzeugten Mengen salpetriger Säure addieren, so müßten wir damit einen Wert erhalten, der den in der Röntgenzimmerluft wirklich nachgewiesenen Mengen nahekommt. Durch die im Röntgenzimmer befindlichen beiden Funkenstrecken werden nach den oben erwähnten Ergebnissen 0.00151 g produziert. Der Gehalt der normalen Luft in dem Raum beträgt 0.00259 g, woraus sich im ganzen 0.0041 g HNO_2 ergeben. Gefunden haben wir 0.0053 g im cbm. Ein weiteres Beispiel: Im Zimmer Nr. 2 läuft eine Funkenstrecke von 39 cm Länge unter den gleichen Bedingungen wie vorhin. Die von dieser Funkenstrecke produzierte Menge an salpetriger Säure berechnen wir zu 002649 g in der Stunde, also 0.2120 g in 8 Stunden. Diese 0.2120 g verteilen sich aber im ganzen Raum auf 175 cbm, d. h. es finden sich dann im cbm 0.00121 g. Zu diesen 0.00121 g der

roduzierten salpetrigen Säure müssen wir noch die in der Luft chon von vorneherein vorhandenen Mengen addieren, und o ergeben sich in 1 cbm 0.00380 g gegen die gefundenen .00455 g HNO_2.

Kurz zusammenfassend müssen wir also feststellen: Die in er Luft eines unter den geschilderten Bedingungen in Betrieb ehenden Röntgenzimmers nachweisbaren Mengen an salpetriger Säure stammen zum kleineren Teil von der Funkenstrecke, zum größeren sind sie schon in der normalen Luft enthalten. Insgesamt sind die ermittelten Werte so gering, der Unterschied gegen die normale „reine" Luft so unbedeutend, daß schon aus diesem Grunde die Möglichkeit, daß durch die salpetrige Säure in der Röntgenzimmerluft die bei Bestrahlern und Bestrahlten zu beobachtenden Erscheinungen hervorgerufen werden, höchst unwahrscheinlich wird. Ganz überzeugend wirken in dieser Hinsicht die Bestimmungen des Gehaltes an salpetriger Säure in der Laboratoriumsluft, da ja hier vielfach größere Mengen gefunden werden, ohne daß auch nur eine Andeutung der „Röntgengasvergiftung" zu finden ist.

VII. Das Ozon im Röntgenzimmer.

1. Vorkommen und Bildung des Ozons in der Luft.

Nachdem wir uns durch die eben geschilderten Methoden überzeugt hatten, daß die Zunahme des Gehalts an salpetriger Säure in der Röntgenzimmerluft so gering ist, daß wir eine schädliche Einwirkung auf die darin beschäftigten Personen ablehnen können, lag es nahe auch das bei dem Betrieb von Hochspannungsapparaten entstehende Ozon in dieser Hinsicht näher zu untersuchen.

Nachdem Schönbein das Ozon als eine Modifikation des atmosphärischen Sauerstoffs erkannt hatte, ist über die Bildung und das Vorkommen des Ozons sehr viel gearbeitet worden. Wir wollen aus der Unzahl der diesbezüglichen Publikationen nur diejenigen herausgreifen, die für unsere Betrachtungen ein spezielles Interesse haben. Zuerst aber wollen wir noch ausdrücklich hervorheben, daß alle diese untersuchten Ozonbildungen in geschlossenen Apparaten vor sich gegangen waren, so daß ein direkter Vergleich mit unseren Ergebnissen nicht so ohne

weiteres möglich ist. Schon sehr frühzeitig war von Fremy und Becquerel (19) festgestellt worden, daß die Zunahme des Ozongehaltes in der Luft unter der Einwirkung von hochgespannten Strömen anfangs der Zeit proportional, dann aber langsamer erfolgt, wahrscheinlich deshalb, weil das Ozon wieder in gewöhnlichen Sauerstoff umgewandelt wird. Daß die Temperatur, bei der wir leben, fast ohne Einfluß auf die Menge des gebildeten Ozons ist, konstatierte v. Babo (20); auch stellte er fest, daß die Ozonbildung mit dem Sinken des Luftdruckes abnimmt, um ganz aufzuhören, wenn das Vakuum so weit getrieben wird, daß die Luft nicht mehr als Isolator wirkt. Dagegen wirkt die Steigerung des Druckes nur insofern, als sie das Isolierungsvermögen des Gases steigert. Nicht ganz in ihren Resultaten übereinstimmend sind die Untersuchungen von Boehe (21) und Shenstone (22). Denn während der Erste feststellte, daß nur aus trockenem Sauerstoff Ozon zu gewinnen sei, und daß die anderen Methoden nitrose Gase und wahrscheinlich auch Wasserstoffsuperoxyd lieferten, glaubte der Zweite aus seinem Untersuchungsergebnissen folgern zu müssen, daß gerade der feuchte Sauerstoff leichter in Ozon umgewandelt werde als der trockene. In Wirklichkeit ist der Widerspruch wohl so zu erklären, daß der absolut trockene Sauerstoff schwerer reagiert als der nicht absolut trockene, ein Verhalten, das man bei vielen chemischen Reaktionen sieht, und das auf der katalytischen Wirkung des Wassers beruht. Jedenfalls ist soviel sicher, daß wir es bei unseren Untersuchungen mit relativ feuchter Luft zu tun haben. Daß die Menge des gebildeten Ozons nicht nach einfachen Gleichungen aus der angewendeten Spannung und Stromstärke zu berechnen ist, daß vielmehr die Ozonbildung respektive die gebildete Ozonmenge von verschiedenen Umständen abhängt, haben die Untersuchungen von Beill (23) ergeben. Chassy (24) dagegen fand, daß bei konstanter Stromintensität der Ozongehalt mit der Zeit zunimmt bis zu einer Grenze, die nur von der Zeit abhängig sein soll. Dieser Satz gilt natürlich nur bis zu einem gewissen Endwert, d. h. bis zu einem bestimmten Ozongehalt, da ja auch bei der Bildung des Ozons sich schließlich ein Gleichgewichtszustand einstellt, bei dem sich Erzeugung und Zerfall die Wage halten. Und zwar ist es nach den Er-

bnissen von Berthelot (25) sicher, daß die Geschwindigkeit, t der das Ozon zerfällt, um so größer ist, je höher sein Ge- lt in einem bestimmten Volumen Luft bezw. Sauerstoff ist. 2% Ozon in vollkommen trocknem Sauerstoff war nach seinen ntersuchungen nach 16 Tagen vollständig zersetzt. Durch Wasser ll der Zerfall nicht beschleunigt werden. In den letzten Jahren ben sich dann noch die Arbeiten von Warburg und Leit- user eingehender mit der Bildung des Ozons in Ozonröhren be- näftigt. Andere Arbeiten haben weiter noch ergeben, daß e Ozonmenge, die man pro Coulomb im Siemensschen pparat erhält, eine nahezu konstante Größe zu sein scheint, e von der Potentialdifferenz zwischen den Generatorelektroden d von der gebrauchten Stromstärke unabhängig ist.

Die in der Luft vorhandenen Ozonmengen wurden vor em von zwei Forschern gemessen. Pless und Pierre (26) nden durch die Titration des auf Jodkaliumpapier ausgeschie- nen Jods in 255 Liter Luft 0.02 mg Ozon, Zenger (27) rch Schätzung der in verdünnter, mit Stärkelösung versetzter dwasserstoffsäure erzeugten Färbung in 100 Liter 0.002 bis 01 mg Ozon. Daß die so erhaltenen Werte aber nicht ganz ein- utig sein können, werden wir sogleich sehen.

2. Der Nachweis sehr kleiner Ozonmengen, besonders in der Luft.

Über die Methoden, die einen absolut sicheren Nachweis s Ozons in der Luft und auch seine quantitative Bestimmung statten sollen, ist sehr viel gestritten worden. Die Ozon- chweismethoden kranken fast alle daran, daß sie auf einer ydationswirkung beruhen, d. h. nicht für Ozon absolut zifisch sind.

Der Entdecker des Ozons, Schönbein, empfahl zum Nach- is und zur Bestimmung des Ozons das Jodkalistärkepapier, ch schon bald nach ihm traten andere Forscher auf, die nicht diesem Nachweis jede Beweiskraft absprachen, sondern sogar s Vorhandensein von Ozon in der gewöhnlichen Luft in Abrede llten. Als sichereres Mittel empfahl dann Böttger (28) das alliumoxydulpapier, dessen größere Sicherheit dem Jodkalium- ier gegenüber auch Schönbein anerkannte. Nicht viel hr als dieses hat sich das von Engler-Wild (29) empfohlene

Manganchlorürpapier eingebürgert. Aufbauend auf die Arbeiten von Fremy (30), haben dann Manchot und Kampschulte (31) das Verhalten von Silber und Quecksilber zu dem Ozon untersucht; auf ihre Ergebnisse kommen wir sofort wieder zurück. In den letzten Jahren haben sich dann ähnlich wie bei anderen chemischen Reaktionen auch zum Nachweis des Ozons die organischen Reagenzien mehr Eingang verschafft. Wir wollen nicht alle empfohlenen Reagenzien aufzählen, sondern nur die wenigstens etwas spezifischeren. Denn gerade diesen organischen Reagenzien haftet noch in höherem Maße als den anorganischen die Unzulänglichkeit an, daß ihre Reaktionen Oxydationsreaktionen sind. Es wurden empfohlen von Arnold-Mentzel* (32) das Tetramethyldi-p-diamido-diphenylmethan in 2% Silbernitratlösung; von Chlopin (33) das Ursol D; von Wurster (34) das Tetramethyl-p-phenylendiamin und endlich von Erlwein und Weil (35) das Metaphenylendiaminchlorhydrat in alkalischer Lösung. Schließlich wollen wir wegen seiner besonderen Wichtigkeit für uns noch ausdrücklich einen Nachweis anführen, der weit empfindlicher ist als alle die genannten Reaktionen, das ist die Erkennung des Ozons durch den Geruch.

Anhangsweise sei noch bemerkt, daß alle diese Reaktionen wohl für den qualitativen Nachweis sich eignen können, wenige aber für eine quantitative Bestimmung. Dafür leistet eigentlich die Schönbeinsche Jodkaliummethode noch die besten Dienste, leider aber nur bei größeren Mengen des Ozons; außerdem kommt vielleicht noch die in der letzten Zeit ausgearbeitete Ferrosulfat-Kaliumpermanganatmethode in Betracht. Aber einen großen Nachteil haben auch diese Reaktionen, sie werden nämlich durch etwa vorhandene salpetrige Säure beeinflußt, und zwar die Jodkaliummethode in dem Sinne, daß bei Gegenwart von salpetriger Säure zu viel Ozon, bei der Ferrosulfatmethode unter Umständen zu wenig gefunden wird.

Wir sind deshalb so vorgegangen, daß wir, wenn größere Mengen Ozon zu bestimmen waren, die Jodkaliummethode in Anwendung brachten, bei kleineren und kleinsten Mengen aber die Methode von Erlwein und Weil und außerdem ein Verfahren, das sich auf die Arbeiten von Manchot und Kampschulte gründet, und das wir im folgenden beschreiben wollen.

Nachdem wir von der Arbeit von Francis Lawry Usher nd Basrur Sanjiva Rao (36) Kenntnis bekommen hatten, aben wir auch deren Methode zur Nachprüfung unserer Werte enützt.

Soviel über die Literatur! Für unsere speziellen Verhältisse können wir, wie gesagt, nur verhältnismäßig wenig davon erwenden.

Wir gingen bei der Prüfung der Ozonbildungsverhältnisse on ähnlichen Gesichtspunkten aus wie bei dem Nachweis er salpetrigen Säure in der Röntgenzimmerluft. Auch hier ar es unsere Absicht, die größten theoretisch zu erwartenden Iengen zuerst aus den Ergebnissen unserer Vorversuche zu erechnen und dann mit den wirklich gefundenen Werten zu ergleichen.

3. Die Ozonbildung zwischen parallelen Drähten in der Luft.

Um über die beim Betrieb von Hochspannungsapparaten uftretenden Ozonmengen einige orientierende Zahlen zu gewinnen, wurde folgende Anordnung getroffen.

Eine Glasröhre von cm lichter Weite und 7 cm Länge war an en beiden Enden zugechmolzen und trug an edem Ende je 2 senkecht zu der Röhrenchse angeschmolzene nd dabei einander gerenüberstehende kurze Glasrohransätze, die

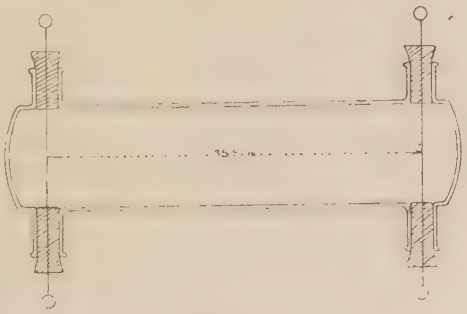


Fig. 1.

urch Gummistopfen verschlossen werden konnten. Durch diese Gummistopfen wurden die das dunkle elektrische Feld bildenden mm starken Kupferdrähte durchgeführt: der unveränderliche Abstand dieser Drähte voneinander betrug 35,5 cm. Das Luftvolumen der Röhre wurde nach dem Einfügen der Drähte durch Auswägen mit Wasser bestimmt und betrug 695 ccm. Die durch ie Gummistopfen durchgeführten Drahtenden wurden zu kleinen

Schlingen umgebogen. An diesen Schlingen befestigten wir Drähte, die auf der einen Seite zu je einem Pol des Apexapparates, auf der anderen Seite zu je einem Pol einer verstellbaren Luftfunkenstrecke führten, so daß die Luftfunkenstrecke und das durch den Hochspannungsstrom hervorgebrachte elektrische Feld einander parallel geschaltet waren. Die Luftfunkenstrecke hatte dabei die Aufgabe, eine konstante Spannung erhalten bezw. die einmal eingestellte Spannung beständig kontrollieren zu können. Der Abstand, bei dem wir arbeiteten, wurde variiert. In der nachfolgenden Tabelle sind die von uns innegehaltenen Abstände angegeben.

Zur Bestimmung der gebildeten Ozonmengen wurde das titrimetrische Verfahren in Anwendung gebracht und dabei mit $^1/_{100}$ normalen Lösungen gearbeitet, da nur auf diese Weise die sehr geringen Ozonmengen mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden konnten.

Wir verwendeten also die titrimetrische Jodkaliummethode, die sich darauf gründet, daß durch das Ozon aus einer Jodkaliumlösung Jod freigemacht wird und zwar nach folgender Gleichung:

$$2\,KJ + O_3 = K_2O + J_2 + O_2.$$

Dabei ist es, wie sich aus den Veröffentlichungen von Sir B. C. Brodie sowie von R. Ladenburg und R. Quasig erkennen läßt, absolut nicht gleichgültig, ob man das Ozon auf neutrale oder auf saure Kaliumjodidlösung einwirken läßt, weil sich in letzterem Falle viel mehr Jod abscheidet, als der einwirkenden Ozonmenge entspricht. Auf genaue Neutralität der verwendeten Kaliumjodidlösung ist also streng zu achten.

Ein Umstand war es, der uns veranlaßte, dieses Verfahren erst nach längeren Vorversuchen zur Bestimmung des Ozons zu verwenden, nämlich die Tatsache, daß auch die etwa in der Röhre gebildete oder schon in der Luft vorhandene salpetrige Säure auf das Kaliumjodid ebenfalls im Sinne einer Jodausscheidung einwirkt. Bei der näheren Untersuchung der Verhältnisse hat sich dann aber doch ergeben, daß man diese Fehlerquelle durch gewisse Vorsichtsmaßregeln ausschalten kann. Vor allem mußte darauf gesehen werden, daß nur absolut salpetrigsäurefreie Luft zur Verwendung gelangte. Dies erreichten wir dadurch, daß wir die Luft, auf die wir die dunkle elektrische Entladung einwirken ließen, bevor wir sie

ı das Versuchsgefäß überführten, durch 15%ige Natronlauge, ann durch verdünnte Schwefelsäure und dann wieder durch atronlauge streichen ließen. Die so vorbehandelte Luft zeigte, ie wir uns mehrmals überzeugen konnten, nach dem bei der estimmung der salpetrigen Säure geschilderten Verfahren gerüft, absolut keine Reaktion mit dem Grießschen Reagens ehr. Nachdem wir also davor gesichert waren, aus der ersuchsluft salpetrige Säure als Verunreinigung zu erhalten, ußten wir uns auch noch überzeugen, ob sich bei der Behandlung der reinen Luft in dem dunklen elektrischen Feld keine der keine nennenswerten Mengen an salpetriger Säure bildeten. u diesem Behufe ließen wir das dunkle elektrische Feld einige eit auf die reine Luft einwirken und prüften dann die Luft ach dem gleichen Verfahren auf salpetrige Säure. Auch hierbei rhielten wir nie eine Andeutung einer positiven Reaktion.

Eine vollständige Bestimmung des Ozongehaltes einer der unklen elektrischen Entladung ausgesetzt gewesenen Luftmenge estaltete sich wie folgt:

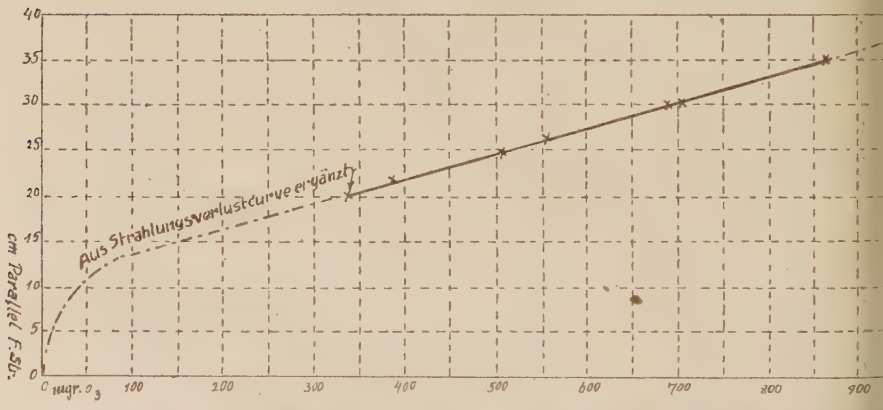
Die mit Schwefelsäure-Kaliumbichromat, dann mit Wasser nd schließlich mit redestilliertem Wasser gereinigte und bei 20 Grad getrocknete Röhre wurde, wie geschildert, an die rähte des Induktors und der Funkenstrecke angeschlossen. arauf ließen wir den Strom durch die ganze Apparatur in er Weise gehen, daß bei sorgsam eingestellter und konstant ehaltener Spannung an der Parallelfunkenstrecke eben der unke überging, ohne auszusetzen. Nach einer gewissen genau emessenen Zeit wurde der Versuch abgebrochen, die Röhre abeschaltet und in sie 10 ccm einer $^1/_1$ normalen absolut neutralen Kaliumjodidlösung einpipettiert. Sofort beim Einlaufen nahm ie ursgrünglich klare und farblose Lösung eine bernsteingelbe Farbe an, die sich bei längerer Einwirkung der ozonisierten uft noch etwas vertiefte. Unter häufigem Umschütteln der Kaliumjodidlösung blieb die Röhre eine halbe Stunde im Dunkeln stehen. Nach Verlauf dieser Zeit wurde die ganze Flüssigkeit mit redestilliertem Wasser aus der Röhre in ein Becherglas espült und sodann mit $^1/_{100}$ normaler Natriumthiosulfatlösung, ach Zusatz von Stärkelösung gegen das Ende der Titration, uf „farblos“ titriert. Hier einige der so gewonnenen Werte:

Tabelle XIII.

Min. Betrieb	Parall. F. Str.	ccm $^1/_{10}$ $Na_2S_2O_3$	Daraus berechn. O_3
10	20 cm	1.40	0.000336 g
10	22 „	1.60	0.000384 „
10	25 „	2.10	0.000504 „
10	26 „	2.30	0.000552 „
10	30 „	2.90	0.000696 „
10	30 „	2.95	0.000708 „
10	35 „	3.60	0.000864 „

In Form einer Schaulinie eingetragen:

Kurve III.



ergibt sich mit großer Annäherung eine Gerade, die aber natürlich nur den Anfangsteil einer Kurve darstellt, da ja wie bei allen chemischen Reaktionen auch hier schließlich ein Gleichgewichtszustand eintritt, bei dem sich Aufbau und Zerfall die Wage halten.

Aus der Kurve können wir wieder verschiedene für uns wichtige Ergebnisse ableiten. Erstens können wir daraus die Werte entnehmen, die wir mangels passender Apparate nicht direkt bestimmen konnten, die Ozonmengen, die bei Spannungen über 35 cm Parallelfunkenstrecke entstehen. Und dann zweitens können wir uns an Hand der Kurve ebenso wie durch die Rechnung über folgendes klar werden. Wenn wir einen Hochspannungsapparat bei einer bestimmten Spannung betreiben, so hören wir ein Rauschen in der Nähe der Drähte, das von der Ausströmung der hochgespannten Elektrizität herrührt. Dieses

Rauschen hat eine gewisse Stärke. Wenn wir nun die Betriebsspannung des Apparates erhöhen, so sollte sich eigentlich auch das Rauschen proportional der Erhöhung der Spannung verstärken. Das ist aber, wie man sich jederzeit leicht überzeugen kann, nicht der Fall, sondern das Rauschen wird ungleich viel stärker. Übrigens kann man diese ganzen Erscheinungen auch sehen, was noch viel objektiver ist als das bloße Hören. Wir brauchen nämlich nur in die Nähe einer Hochspannungsleitung eine auf ca. 0.01 mm evakuierte Glasröhre zu halten, so leuchtet das darin befindliche Gas in einer bestimmten Lichtstärke auf. Erhöhen wir die Betriebsspannung um das Doppelte, so wird bei gleicher Entfernung der Röhre von den Drahtleitungen die Leuchterscheinung in ihr nahezu verdreifacht. Dies alles zeigt, daß mit Erhöhung der Spannung der Stromverlust durch Ausstrahlung viel größer wird, als der Spannungserhöhung entsprechen würde. Dasselbe müßten wir auch aus unserer Tabelle entnehmen können. Wenn eine vermehrte Stromausstrahlung wirklich vorhanden ist, so muß auch eine relativ größere Menge Ozon gebildet werden; daß das der Fall ist, zeigt unsere Tabelle. So finden wir z. B., daß bei einer Zunahme der Spannung, die einem Parallelfunkenstreckenabstand von 20 cm entspricht, auf einen Abstand von 30 cm eine Zunahme des Ozons von 0.000336 auf 0.000696 g erfolgt, d. h. einer Spannungszunahme von nur 33% entspricht eine Ozonmengenzunahme von fast 50%. Das bedeutet, daß der chemische Befund mit den oben geschilderten physikalischen Vorgängen in Einklang steht.

4. Die Berechnung des Ozonprozentgehalts und der maximalen im Röntgenzimmer möglichen Ozonmengen.

Wir wollen zuerst den Teil des Luftsauerstoffs bestimmen, der unter der Einwirkung der dunklen elektrischen Entladung in Ozon übergegangen ist.

Die Dichtigkeit der trockenen atmosphärischen Luft bei 760 mm Barometerstand und 0 Grad ist $D = 0.0012934$. Der Temperatur t und dem Barometerstand b entspricht also die Dichtigkeit der Luft:

$$D = \frac{0.0012934}{1 + 0.003665\ t} \cdot \frac{b}{760}$$

Da nun die Versuchsröhre 695 ccm Inhalt besaß und der Versuch, beispielsweise, bei 18 Grad und 744 mm Barometerstand vorgenommen worden war, so ergibt sich:

$$D = \frac{0.0012934}{1 + 0.003665 \cdot 18} \cdot \frac{744}{760} = 0.001187.$$

Die in dem Versuchsrohr enthaltene Luft hat also ein Gewicht von

$$0.001187 \cdot 695 = 0.822965 \text{ g}.$$

Aus sehr zahlreichen chemischen Untersuchungen der Luft hat sich, wie allgemein bekannt, ergeben, daß das Verhältnis von Stickstoff zu Sauerstoff in der Luft wie 0.77 : 0.23 (Gewichtsteile) ist. Demnach beträgt der Anteil an Sauerstoff, der sich in den 0.822965 g Luft befindet, 0.189282 g.

Nun haben wir, wie aus obiger Tabelle zu entnehmen, die Menge des gebildeten Ozons zum Beispiel für 35 cm Abstand der Parallelfunkenstrecke bei 18 Grad und 744 mm Druck nach 10 Minuten Betrieb zu 0.000864 g bestimmt, das heißt in Prozente umgerechnet:

Es sind von der gesamten in dem Versuchsrohr vorhandenen Luftmenge nach 10 Minuten langem Betrieb 0.105 Gew.% in Ozon umgewandelt worden. Was dies zu bedeuten hat, werden wir gleich sehen.

Wir maßen bei unserer Versuchsanordnung die Drahtlänge, von der beim Versuch die dunkle elektrische Entladung ausging, zu 5 cm. Nach den in den jetzigen Röntgenzimmern gebräuchlichen Anordnungen werden wir aber nicht fehlgehen, wenn wir die im Röntgenzimmer befindliche strahlende Drahtlänge zu mindestens 3 Meter einsetzen. Bei dieser Drahtlänge würde die Ozonmenge, die sich nach 10 Minuten Betrieb gebildet hat, zu 0.05184 g zu berechnen sein, nach einer Stunde also 0.31104 g betragen. Diese gesamte Ozonmenge verteilt sich aber, abgesehen von der natürlichen Ventilation, auf den ganzen Raum, in dem der Apparat läuft. Setzen wir z. B., wie es bei dem hiesigen Röntgenzimmer Nr. 2 (siehe Tabelle Nr. IX.) der Fall ist, die Raumgröße zu 175 cbm in Rechnung, so würden wir finden, daß bei völligem Intaktbleiben des einmal gebildeten Ozons 0.00172 g Ozon in einem cbm Luft sich finden müßten. Aber diese Voraussetzung, das Intaktbleiben des gebildeten Ozons, trifft nicht zu. Es ist nach den Untersuchungen von Ber-

thelot (25) ganz einfach zu berechnen, daß die Ozonmenge, wie sie nach unseren Versuchen überhaupt maximal vorhanden-sein könnte: 0.00177 g im cbm, sich in mindestens 80—90 Sekunden spontan zerlegt hat. Auf ganz einfache Weise können wir dieses Ergebnis ungefähr nachprüfen: Wir lassen in einem Raum eine Ozonisierungsröhre, z. B. eine Siemensröhre, unter guter Durchmischung der gesamten Zimmerluft durch einen großen Ventilator so lange laufen, bis wir den Geruch des Ozons im ganzen Zimmer gut wahrnehmen. Dann beträgt der Gehalt der Luft sicher mehr als $^1/_{500000}$ (Schönbein). Jetzt schalten wir die Apparate aus und verlassen das Zimmer rasch auf die Dauer von 90 Sekunden. Selbst wenn wir uns auf den Geruch besonders trainiert haben, werden wir jetzt beim Wiedereintreten in den Raum das Ozon nicht mehr riechen. Das Ozon hat sich teils freiwillig zersetzt, teils ist es durch seine oxydierende Einwirkung auf die anderen Luftbestandteile zerlegt worden. Kurz und gut, es ist nicht mehr vorhanden. Wir sehen also schon aus theoretischen Erwägungen, daß wir keine großen Ozonmengen in der Röntgenzimmerluft werden erwarten können, die natürliche Ventilation wird selbstverständlich diese Werte noch verkleinern.

5. Der Nachweis des Ozons in der Röntgenzimmerluft.

Es war, wie eben abgeleitet, schon von vorneherein klar, daß die nachzuweisenden Ozonmengen sehr klein sein würden. Wir benützten und probierten deshalb von Anfang an nur die empfindlichsten Ozonreagentien, ohne aber in den Fehler zu verfallen, Reagentien anzuwenden, die auch mit anderen Stoffen (salpetrige Säure, Wasserstoffsuperoxyd) reagierten. Zuerst versuchten wir, ob sich nicht die Kaliumjodidmethode, allerdings in etwas modifizierter Form, zu der Bestimmung verwenden ließe. Da es erwiesen ist, daß das Ozon durch 20% Natronlauge geleitet werden kann, ohne daß es sich zersetzt, so wurde die zu untersuchende Luft, ehe sie in das Absorptionsgefäß mit der zu zersetzenden Kaliumjodidlösung treten konnte, zur Beseitigung von etwa beigemischter salpetriger Säure durch 10% Natronlauge geleitet, natürlich unter Vermeidung jeder Gummiverbindung. Nachdem so durch die $^1/_1$ normale Kaliumjodid-

lösung allmählich ca. 150 Liter Luft durchgesaugt worden waren, hatte sich noch nicht die geringste Gelbfärbung gezeigt, und auch nach Zusatz von Stärkelösung trat keine Blaufärbung auf. Um dem Vorwurf zu entgehen, daß das Ozon bei der kurzen Berührungsdauer mit der Kaliumjodidlösung nicht genügend Gelegenheit gehabt habe, auf dieses einzuwirken, so haben wir diese Versuche mit einem speziellen Absorptionsrohr wiederholt. Da diese Vorrichtung uns auch an anderer Stelle gute Dienste geleistet hat, so wollen wir sie kurz an der Hand einer schematischen Abbildung (Fig. 2) beschreiben.

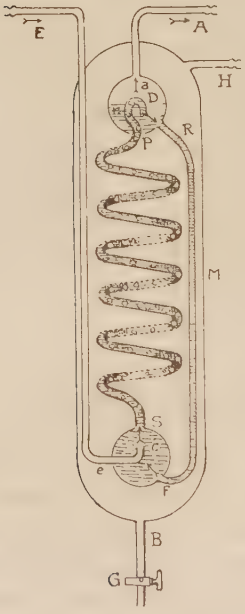


Fig. 2.

E ist das Gaseinleitungsrohr, A das Gasableitungsrohr. Wenn wir an das Gasableitungsrohr eine Wasserstrahlpumpe anlegen und diese in Betrieb setzen, so tritt durch das Rohr E das zu untersuchende Gas ein, geht dann durch das Rohr e und perlt durch das Winkelrohr in die mit dem Absorptionsmittel gefüllte Glaskugel C, um von da durch das Spiralrohr SP in die Kugel D zu steigen. Da sich in der Kugel D aber die Absorptionsflüssigkeit bis zu dem Niveau n befindet, so wird das Gas noch einmal mit der Absorptionsflüssigkeit in Berührung gebracht, bevor es durch das Gasableitungsrohr A den Apparat verläßt. Dies der Weg für den Gasstrom. Wollte man nun das Gas immer diesen Weg gehen lassen, ohne daß die Absorptionsflüssigkeit sich erneuert, so würde das Absorptionsvermögen der Flüssigkeit nicht vollständig ausgenützt werden. Um diesen Fehler zu vermeiden, haben wir für eine beständige Zirkulation der Flüssigkeit Sorge getragen und zwar in folgender Weise. Durch jede aus dem Winkelrohr e in die Kugel C und von da in das Spiralrohr SP eintretende Gasblase wird die darüberstehende Flüssigkeitsmenge nach oben befördert in das Gefäß D. Diese Kugel D trägt aber außer der Einmündungsstelle der Spiralröhre und der Gasableitungsröhre noch an ihrer tiefsten Stelle das Rohr R,

as seinerseits wieder in die Kugel C bei F einmündet. Durch iese Röhre RF fließt die durch die Gasblase aus C nach D eförderte Flüssigkeitsmenge wieder nach C zurück. So wird ine beständige lebhafte Zirkulation der Absorptionsflüssigkeit rreicht. Das ganze Röhrensystem ist zum Zwecke der besseren Handlichkeit schließlich in dem weiten Mantelrohr M untergeracht. Dieses Einschließen des ganzen Röhrensystems hat ann außerdem noch den Vorteil, daß man in den Glasmantel urch die Ansätze H und B (B ist durch Hahn G verschließbar) Vasser von beliebiger Temperatur einführen und so auch die bsorption bei verschiedenen Temperaturen vornehmen kann. egt man, wie es bei unseren Versuchen der Fall war, auf mögichst vollständige Absorption den Hauptwert, so füllt man Eiswasser ein und läßt die Absorption bei niedriger Temperatur or sich gehen, wodurch ja bekanntlich das Absorptionsvermögen er meisten Flüssigkeiten steigt.

So viel von der von uns verwendeten Apparatur.

Da also, wie wir eben sahen, die Kaliumjodidmethode zur uantitativen Bestimmung der in der Röntgenzimmerluft vorandenen sehr geringen Ozonmengen nicht zu verwenden war, so ußten wir daran gehen, eine anderes, empfindlicheres Verfahren erauszufinden. Wir versuchten deshalb weiter die Kaliumpermanganat-Eisensulfatmethode, doch auch diese, so vortrefflich sie an nd für sich ist, mußten wir, wegen der durch den Salpetrigsäureehalt der Luft bedingten Ungenauigkeit der gewonnenen Zahlen, blehnen. Auch war diese Methode, da wir mit sehr großen Luft- und sehr kleinen Ozonmengen zu arbeiten hatten, schwierig n der Anwendung. Deshalb versuchten wir weiter den von Fremy aufgefundenen und von Manchot und Kampschulte 31) genau erforschten Vorgang der Oxydation von reinem Silber, nd zwar sowohl bei höherer Temperatur als auch unter dem atalytischen Einfluß von Eisenoxyd und anderen katalytisch virkenden Metalloxyden zur Mengenbestimmung des Ozons u verwenden. Wir erhielten dabei negative Resultate, da uch bei stundenlangem Verweilen des Silberbleches in der zu ntersuchenden Luft sich keine Veränderung der Oberfläche eigte, ja nicht einmal eine Abschwächung der Reflexionskraft ufzufinden war. Erst nach 14tägigem Verweilen eines mit Eisenoxyd und Schmirgel behandelten Silberbleches in der Röntgen-

zimmerluft hatte sich an einigen Stellen ein blauer Schimmer an der Oberfläche gezeigt. Wir heben hierbei ausdrücklich hervor, daß diese Versuche an Tagen angestellt wurden, an denen die Luft in dem Röntgenzimmer, wo das Silberblech aufgehängt war, deutlich nach Ozon roch. Es gibt für den negativen Ausfall der Probe nur zwei Erklärungen: entweder müssen wir annehmen, daß kein Ozon vorhanden ist, oder daß die Probe nicht empfindlich genug ist. Was die erste Annahme betrifft, so werden gleich die folgenden Proben und Untersuchungen zeigen, daß der Röntgengeruchsstoff wirklich zum größten Teil Ozon ist; es bleibt also nur übrig, das Versagen der Probe auf deren zu geringe Empfindlichkeit zu schieben. Viel beweisender als die Silberprobe und auch viel empfindlicher fanden wir die Quecksilberprobe. Auch das Verhalten des Quecksilbers zum Ozon ist in der gleichen oben zitierten Arbeit von Manchot und Kampschulte näher untersucht worden. Leitet man nämlich ozonhaltige Luft über oder auch durch Quecksilber, so verliert das Metall seinen schönen Glanz, wird zuerst an der Oberfläche stumpf, um nach u. nach eine obenauf schwimmende aschenähnliche graue Masse abzuscheiden, die sich immer mehr vermehrt, bis schließlich bei noch längerer und auch intensiverer Einwirkung des Ozons das Quecksilber ganz in ein aschgraues Pulver übergangen ist. Das erste Zeichen einer Einwirkung des Ozons auf das Quecksilber ist also das, daß die Oberfläche des Metalls nicht mehr so spiegelnd ist wie vorher. Schüttelt man nun das Quecksilber in seinem Gefäß, so bemerkt man, daß es zum Teil an der Gefäßwand hängen bleibt; es sieht aus, als ob es mit irgend einem Metall legiert oder verunreinigt sei. Diese Eigenschaft des Quecksilbers, mit Ozon so zu reagieren, benützten wir auch eine Zeitlang, ehe wir eine genauere Methode ausgearbeitet hatten, dazu, um vergleichende Messungen anzustellen. Läßt man nämlich durch die gleiche Quecksilbermenge mit gleicher Geschwindigkeit Luft eine bestimmte immer gleichbleibende Zeit hindurchströmen, und gießt dann das oxydierte Quecksilber in einen Trichter mit Filter, dessen Spitze mit einer feinen Nadel durchstochen wurde, so läuft das nicht veränderte Quecksilber gut durch die feine Öffnung ab, das aschgraue Pulver aber bleibt auf dem Filter zurück. Hält man immer gleiche Verhältnisse ein, so kann man aus der Menge

les zurückbleibenden Pulvers annähernd einen Schluß auf lie Menge des Ozons ziehen, das auf das Quecksilber eingevirkt hat. Natürlich ist es dazu unbedingt nötig, daß man sich :uerst gewisse Vergleichsfilter herrichtet, die man so hergestellt, daß man mit dem Quecksilber bestimmte bekannte Ozonmengen, z. B. in dem oben beschriebenen Ozonrohr, :usammenbringt und dann das veränderte Quecksilber in der gleichen Weise filtriert. Daß man mit einem solchen Verfahren nur Übersichtswerte und keine beweisenden Zahlen bekommen kann, brauchen wir wohl nicht noch ausdrücklich hervorheben. Deshalb gingen wir später so vor, daß wir uns lie Erlwein-Weylsche Reaktion zu einer kolorimetrischen Meßmethode ausbauten. Wie Erlwein und Weyl nachgewiesen hatten, wirken salpetrige Säure und Wasserstoffsuperoxyd in alkalischer Lösung auf das Reagens, das Metaphenylendiaminchlorhydrat, nicht ein. Dagegen färbt sich diese Verbindung schon mit sehr geringen Mengen Ozon intensiv gelbbraun-rötlich, liefert also Farben, die noch dazu ziemlich beständig sind.

Nun haben wir aber, wovon wir uns durch Versuche wiederholt überzeugen konnten, in der oben beschriebenen Luftozonierungsröhre ein sehr einfaches und doch verläßliches Mittel, uns rasch und sicher sehr kleine genau bekannte Ozonmengen jederzeit darzustellen. Wir brauchen nur die Röhre immer unter gleichen Bedingungen zu betreiben, so erhalten wir Werte, die nicht mehr als um ca. 1 % voneinander abweichen. Wir brauchen also unsere Röhre nur z. B. bei 30 cm Parallelfunkenstreckenabstand mit einer Spannung zu betreiben, die eben groß genug ist, daß an der Funkenstrecke dauernd Funken übergehen, dann haben wir in unserer Röhre nach Verlauf von z. B. 2 Minuten 0,000 133 g Ozon (siehe Tabelle Nr. XIII). Geben wir nun in unsere Ozonröhre 25 ccm des Phenylendiaminreagens (0.05 g Metaphenylendiaminchlorhydrat in 90 ccm Wasser und 10 ccm 5 % Natronlauge), so erhalten wir eine gelbbraun-rote Lösung von ganz bestimmter Farbe und Farbenstärke. Diese Lösung können wir dann, wenn wir rasch arbeiten, sofort als Standardlösung benützen, da sie sich etwa $^1/_4$ Stunde lang unverändert hält; nach Verlauf dieser Zeit wird sie allmählich dunkler und ändert auch ihren Farbenton. Deshalb ist es zweckmäßig, wenn man

sich gleich, nachdem man die Standardlösung erhalten hat, eine Vergleichslösung herstellt und diese dann zu den eigentlichen Messungen benützt. Die Herstellung der Vergleichslösung gelingt leicht durch Mischen von verdünnten ca. 1 promilligen Lösungen von Carmin, Bismarckbraun und etwas Methylenblau und Verdünnen mit Wasser. Eine genaue Zusammensetzung der Anteile dieser Farben an dem Gemisch zu geben ist ganz unnütz, weil man sich ja die Vergleichslösung bei genaueren Arbeiten selbst herstellen wird, und weil sich die geringe dazu aufgewendete Arbeit durch viel größere Sicherheit der Resultate längst wett macht. Aber wie alle kolorimetrischen Methoden hat auch diese Methode den Nachteil, daß man infolge der außerordentlichen Empfindlichkeit des Phenylendiamins (0.08 mg Ozon geben eine sehr intensive gelbbraunrote Färbung) sehr vorsichtig arbeiten muß, will man sich nicht der Möglichkeit aussetzen, mit der Methode fehlerhafte Resultate zu erhalten. Ebenso haftet auch die Methode von Francis Lawry Usher und Basrur Sanjiva Rao (36) der Nachteil der übergroßen Empfindlichkeit an. Auch dies Verfahren ist ein kolorimetrisches und baut sich auf folgender Erkenntnis auf. Lassen wir auf Natriumnitrit Ozon einwirken, so wird das Nitrit unter Reduktion des Ozons zu gewöhnlichem Sauerstoff in das Natriumnitrat quantitativ übergeführt. Wir verwenden dabei eine in ihrem Gehalt genau bekannte Natriumnitritlösung, z. B. die zur Bestimmung der salpetrigen Säure benützte mit einem Gehalt von 0.01 mg N_2O_3 im ccm, und geben davon eine abgemessene Menge, z. B. 0.5 ccm, mit Wasser in eine große mit dem zu prüfenden Gas gefüllte Flasche von genau bekanntem Volumen. Nach $^1/_2$ stündigem Verweilen der Flüssigkeit in der Flasche bestimmen wir die noch vorhandene Natriumnitritmenge mit dem Grießschen Reagens in genau der gleichen Weise, wie dies bei der Bestimmung der salpetrigen Säure beschrieben ist, und können dann aus den so gewonnenen Zahlen leicht das vorhanden gewesene Ozon berechnen nach der Formel:

$$NaNO_2 + O_3 = NaNO_3 + O_2.$$

Aber auch diese Methode ist in bezug auf unsere Absichten nicht ideal. Wir wissen ja aus unseren oben angegebenen Zahlen, daß auch in der normalen Luft salpetrige Säure vorkommt, und diese Mengen addieren sich dann natürlich zu den

on uns willkürlich zugefügten. Usher und Sanjiva Rao uchten diesen Nachteil dadurch zu beseitigen, daß sie Doppel-estimmungen ausführten. Dies ist so zu verstehen, daß sie inmal die Bestimmung des Ozons in der zu untersuchenden uft direkt vornahmen, und dann, daß sie die zu untersuchende uft, bevor sie in das Bestimmungsgefäß trat, auf ca. 300 Grad rhitzten, bei welcher Temperatur beigemischtes Ozon sicher erstört werden würde. Aus der Differenz zwischen den beiden ewonnenen Werten berechneten sie dann das wirklich vor-anden gewesene Ozon. Daß diese doppelten Bestimmungen ngenehm wären, kann man nicht gerade behaupten, besonders enn es sich um Serienversuche handelt. Anders aber läßt ich die Methode nicht gut verwerten. Wir haben sie deshalb uch nicht als unsere Hauptmethode angewendet, sondern uns rer nur zur gelegentlichen Kontrolle der von uns mit der henylendiaminmethode gewonnenen Resultate bedient.

. Die in der Röntgenzimmerluft wirklich vorhandenen Ozonmengen.

Bevor wir die von uns ermittelten Zahlen anführen, wollen ir uns einmal überlegen: Haben wir nicht ein ganz einfaches ittel, das uns gestattet, annähernd genau zu sagen, wie viel Ozón irklich in der Röntgenzimmerluft im Minimum vorhanden sein uß? Und wirklich, ein solches Mittel besitzen wir in dem empfind-chsten Ozonreagens, das wir kennen, in dem Nachweis durch ie Nase. Schönbein hatte schon angegeben, daß man eine zonmenge von 1:500000 in der Luft noch leicht riechen önne. Andere Forscher behaupteten, daß man noch einen ehalt von 1:1000000 durch den Geruch nachweisen könne. ir selbst haben feststellen können, daß speziell bei dem Riechen" des Ozons sehr große individuelle Unterschiede bestehen, ine Tatsache, auf die wir bei der Besprechung der vom Röntgen-immer ausgehenden Schädigungserscheinungen bereits hinge-iesen haben. Das Verhältnis 1:1000000 entspräche einem Gehalt on 1,28 mg Ozon im cbm Luft, d. h. da wir bei längerem etrieb unserer Röntgenapparate — natürlich ohne maschinelle ntlüftung — in den Röntgenzimmern den Geruch des Ozons nden, so muß dessen Menge mindestens 1,28 mg im cbm Luft etragen. Jetzt die gewonnenen Zahlen selbst!

Auch hier ziehen wir es vor, die Werte gleich tabellarisch geordnet anzuführen!

Tabelle XIV.

Zeit	Zimmer	Betriebsdauer	Gefd. mg Ozon im cbm Luft
Febr. 18.	1	2×6*)	3.2 mg
Febr. 18.	3	4	1.6 mg
Febr. 18.	5	2×5*)	2.1 mg
April 18.	3	4	1.8 mg
Juni 18.	4	2×5*)	1.9 mg
Sept. 18.	4	2×5*)	2.8 mg
Sept. 18.	2	4	2.3 mg
Sept. 18.	2	4	2.5 mg
Okt. 18.	2	4	3.5 mg

Diese Beispiele mögen genügen. Was ersehen wir daraus? Vorausschicken müssen wir, daß bei allen Untersuchungen ein deutlicher Ozongeruch zu konstatieren war. Wir betonen das in Hinsicht auf unsere vorstehenden Ausführungen mit besonderem Nachdruck. Wir sehen, daß alle Werte eigentlich nur in mäßigen Grenzen schwanken, da wir als maximale obere Grenze 3.5 mg, als minimale Grenze 1.6 mg im cbm Luft gefunden haben. Und doch zeigen, wie das ja auch ganz erklärlich ist, die einzelnen Zimmer gewissermaßen individuelle Verschiedenheiten, die wir auf Verschiedenheiten in der Befestigung der ausstrahlenden Drähte, in deren Länge, in ihrer Oberfläche u. s. w. zurückführen müssen. Von großem Einfluß auf die Ozonbildung sind natürlich auch die Witterungsverhältnisse, das sehen wir an den letzten drei der in der Tabelle aufgeführten Zahlen. Denn während die unter gleichen atmosphärischen Verhältnissen gemessenen Ozonmengen Nr. 7 und 8 sehr gut übereinstimmen (2·3 und 2·5 mg), fanden wir an einem trüben feuchten Oktobertag den Wert Nr. 9 (= 3·5 mg).

Überhaupt sind wir, je mehr wir uns mit diesen Bestimmungen befaßten, zu der Überzeugung gekommen, daß bei der Ozonbildung sehr komplizierte und mannigfache Einflüsse mitwirken. Allerdings sind die von uns bestimmten etwa 30 Werte zu wenig, um diese Verhältnisse ganz aufzuklären, aber wir

*) Bei diesem Versuch liefen zwei Röntgenapparate gleichzeitig in demselben Zimmer 5 bezw. 6 Stunden. Vgl. Tab. IX.

wollen doch außer den genannten Einflüssen noch einige wenigstens nennen, denen wir sicher eine gewisse Bedeutung nicht absprechen können. Wir glauben z. B., daß die Größe des Potentialgefälles in der Luft von einem gewissen Einfluß ist, wobei wir nicht nur an die kurzdauernden Störungen bei Gewittern und Niederschlägen denken, sondern auch an die periodischen Schwankungen des Gefälles (Sommer und Winter). Dann aber ist auch die Leitfähigkeit der Luft für die Elektrizität von Einfluß, und zwar nicht nur in dem Sinn, daß mit größerer Luftfeuchtigkeit die Leitfähigkeit wächst, sondern wir müssen ja auch an die Ionisation der Röntgenzimmerluft teils durch die direkten Röntgenstrahlen, teils durch die Streustrahlung und die Sekundärstrahlung denken. Dadurch, daß bei den heute gebräuchlichen Bestrahlungsstativen die Bleiglasschutzkästen nach oben offen sind, kann ein Austritt von Röntgenstrahlen stattfinden; und diese Röntgenstrahlen ionisieren die Luft auch zwischen den Hochspannungsstromleitungsdrähten und bewirken einen partiellen Elektrizitätsübergang oder zum mindesten veränderte Stromleitungsverhältnisse. Wir wollen uns hier nicht mehr weiter auf diese physikalisch-chemischen Erörterungen einlassen, sondern gleich besprechen, ob der Aufenthalt in einer solchen Luft irgendwelche gesundheitlichen Folgen hat und, wenn ja, welche Folgen wir finden.

7. Die Folgen des Aufenthaltes in einer mit Ozon verunreinigten Luft.

Über die Schädlichkeit der mit Ozon versetzten bezw. verunreinigten Luft ist in den letzten Jahren außerordentlich viel gearbeitet worden, und zwar, wie man leider feststellen muß, durchaus nicht immer mit klarem, unvoreingenommenem Urteil. Nur aus einem gewissen pekuniärem Interesse an guten zweckentsprechenden Resultaten lassen sich die sich oft ganz widersprechenden Ergebnisse erklären. Zeigt sich diese Unsicherheit in den Resultaten schon bei der Bestimmung des Wirkungsbeginns bezw. des Wirkungsmaximums, so erst recht bei der Bestimmung der für den Menschen unschädlichen Mengen.

Bei all diesen Untersuchungen wurde zuerst mit sehr starken Ozondosen an Tieren gearbeitet. Natürlich hatten diese großen Dosen fast durchweg sehr eingreifende, bisweilen sogar tödliche

Wirkungen. Nach Dewar und Mc. Kendrick (37) verringert das Einatmen stark ozonisierter Luft die Stärke der Herzpulsation, zugleich sinkt die Körpertemperatur des Versuchstieres um 3—5 Grad. Der Tod erfolgt durch intensive Kompression der Lunge mit Emphysem und Distension des rechten Herzens, und zwar meist unter Konvulsionen. Interessant ist eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der Untersuchungen von L. Hill und Martin Flack (38) mit denen der Untersuchungen von Labbé und Oudin (39). Während nämlich die ersteren angeben, daß schon nach 2stündigem Aufenthalt in 0.0015 % Ozon tödliche Pneumonien eintreten können, geben die letzteren Forscher bekannt, daß Luft mit 0.11 bis 0.12 mg (= 0,0085 %) Ozon im Liter von Tieren ohne Schädigung eingeatmet werden könne. Wir ersehen daraus, daß bei diesen Untersuchungen noch erhebliche Differenzen in den Ergebnissen verschiedener Forscher zu finden sind. Diese Erkenntnis ist für die Beurteilung der ganzen Vergiftungsfragen von hervorragender Wichtigkeit. Man hatte schon seit der Zeit Schönbeins versucht, das Ozon in den Arzneischatz einzuführen, da man hoffte, dadurch dem Körper einen lebenswichtigen, wie manche meinten, sogar einen physiologischen Stoff zuzuführen. Aber alle diese Bestrebungen waren bis jetzt nur von geringem Erfolg gewesen. Während also das Ozon als Arzneimittel versagte, kam es bald teils wegen seiner wirklich guten Eigenschaften, teils infolge mancher sehr geschickter Propagandaarbeiten als Desinfiziens und zwar sowohl für die Luft als auch für das Wasser in Aufnahme. Die Desinfektion mit Ozon hat ja auch auf den ersten Blick schon etwas Bestechendes an sich, da wir den zu desinfizierenden Stoffen keine fremden Bestandteile hinzufügen brauchen, die nach der Einwirkung erst wieder entfernt werden müßten. Zur genaueren Beurteilung der Desinfektionsfrage wurde vor allem der Einfluß des Ozons auf die niederen Lebewesen untersucht. Leider kam man da zu Resultaten, die die Luftdesinfektion mit Ozon als ganz aussichtslos erscheinen ließen. Hermann Sonntag (41), einer der ersten, der diese Fragen mitbearbeitete, fand nämlich, daß das Ozon erst bei einer Konzentration von 13.53 mg im Liter Luft eine einigermaßen erkenntliche Desinfektionswirkung ausübt. Binz (40) versuchte dann die ganze Ozonforschung auf eine mehr wissen-

chaftliche Basis zu stellen, indem er vor allem die Einwirkung es eingeatmeten Ozons auf das Blut genauer untersuchte. David (42) prüfte das Verhalten anderer Gewebe und Organe u reinem Ozon mit dem Resultat, daß Ozon, intrapleural oder ntraperitoneal injiziert oder auch in den Magendarmkanal ein-ebracht, keine Schädigung der Gewebe hervorzubringen ver-nag. Aus den letzten Jahren sind, — eine genauere chrono-ogische Aufzählung aller diesbezüglichen Arbeiten würde uns uch nichts Neues bringen, deshalb wollen wir davon absehen, sie inzeln aufzuführen, — dann vor allem die Arbeiten von Marek und Konrich beachtenswert. Marek (43) ließ das Ozon, allerdings in ziemlich großer Konzentration, sowohl auf rwachsene als auch vor allem auf wachsende Tiere einwirken. Er konnte dabei ähnlich wie Binz feststellen, daß der Hämo-lobingehalt des Blutes beim Aufenthalt in einer Ozonatmo-phäre erhöht wird; ferner auch, daß das Ozon auf die Ent-vicklung des Gesamtorganismus von ungünstigem Einfluß ist. Die ozonbehandelten Tiere blieben gegenüber den nicht behan-elten Vergleichstieren ganz bedeutend in Größe u. s. w. zurück. Während des Aufenthalts der Tiere in der Ozonatmosphäre wurde eine große Neigung zu Husten und auch eine verstärkte Nasensekretion beobachtet. Starben die Tiere, so konnten multiple Thrombosen, Hyperämie der Lunge und außerordentliche Neigung u Pigmentinduration festgestellt werden. Was die Arbeiten on Konrich (45) betrifft, so befaßten sie sich vor allem mit er Untersuchung der Möglichkeit einer Schädigung bei Anwendung es Ozons als Luftdesinfiziens. Vor einigen Jahren war man ja der Ansicht, daß das Ozon das Luftreinigungsmittel der Zukunft sei, nd man ging, da durch verschiedene Arbeiten glänzende Re-ultate erhalten worden waren, so weit, bei der Anlage von Räumen, in denen mit üblen Gerüchen zu rechnen war, lieber auf en Einbau einer Ventilationseinrichtung als auf den Einbau einer Ozonisierungsanlage zu verzichten. Weil gefunden worden war, daß das Ozon auf verschiedene übelriechende Stoffe wie Butter-säure, Schwefelwasserstoff u. s. w. desoderierend einwirkt, glaubte man fest an seine zuverlässige Wirksamkeit. Da war es vor allem Konrich, der die Verhältnisse so klar legte, daß man sich endlich von allen Illusionen freimachen konnte. Schon aus den früheren Untersuchungen hätte man entnehmen können,

daß das Ozon, um wirksam zu sein, in so großer Konzentration angewendet werden müsste, daß eine Atmung in dieser Atmosphäre ausgeschlossen wäre. Konrich gab allerdings zu, daß für manche, man kann wohl sagen wenige Menschen, das Ozon in sehr geringen Dosen erfrischend sei, er behauptete aber auch und konnte dies durch Erfahrungen beweisen, daß in höheren Konzentrationen Hustenreiz, Abgeschlagenheit, Brennen in den Augen auftreten. Er geht ja wohl etwas weit, wenn er angibt, daß man bei Ozonisierungen nicht über eine Dosis von $^1/_2$ mg im cbm Luft hinausgehen dürfe, hat aber sehr recht mit der Behauptung, daß die Wirkung des Ozons in Bezug auf die Desodorierung nicht sehr groß sei, daß damit vielmehr nur eine „Parfümierung" der Luft vorgenommen werde. Es gibt ja auch, wie man sich immer wieder überzeugen kann, sehr viele Gerüche, die sich nicht mit Ozon entfernen lassen, sondern die neben dem Ozon noch zu riechen sind, bezw. die dann wieder zum Vorschein kommen, wenn sich das Ozon in Sauerstoff umgesetzt hat, also zerstört ist.

Aus all den Arbeiten über das Ozon und über dessen Verwendung zur Luftreinigung ersehen wir also, wenn wir alles zusammenfassen, das eine sicher, daß die toxische Dosis des Ozons sehr klein ist.

8. Die Mitwirkung des Ozons in der Röntgenzimmerluft an den bei Bestrahlern und bei Bestrahlten auftretenden Schädigungen.

In einem früheren Abschnitt dieser Arbeit über die Giftwirkung der salpetrigen Säure in der Röntgenzimmerluft bezw. über deren Beteiligung an der Gasvergiftung sind wir zu dem Schlusse gelangt, daß wir keinen Anlaß haben, beim modernen Tiefentherapiebetrieb eine Einwirkung dieser Säure anzunehmen. Schon die physiologischen Vorgänge bei der Atmung bewirken in den obersten Abschnitten des Respirationstraktus eine Beseitigung der etwa vorhandenen salpetrigen Säure, wobei wir vor allem außer an die gewöhnliche Absorption der salpetrigen Säure durch die feuchten Schleimhäute auch daran denken müssen, daß diese Schleimhäute ein leicht alkalisch reagierendes Sekret liefern, dessen Alkaleszens noch durch den alkalisch reagierenden Speichel unterstützt wird, und das die etwa vorhandene salpetrige chemisch bindet und unschädlich macht. Überhaupt hat ja heutzutage

ie Frage nach der Möglichkeit der Salpetrigsäuremitwirkung ei den Krankheitserscheinungen nicht mehr die Wichtigkeit vie vor einigen Jahren, denn soweit sich heute die Entwicklung er Tiefentherapie übersehen läßt, werden wir mehr und mehr ie offenen Funkenstrecken und sogar die Parallelfunkenstrecken erschwinden sehen, wie dies schon bei dem Symmetrieapparat-etrieb in praxi durchgeführt ist, bei dem an Stelle der Parallel-unkenstrecke ein Spannungsmesser Verwendung findet.

Nun fragt es sich, ob wir auch die Schädigung durch das)zon ablehnen können. Wie wir gleich vorwegnehmen wollen, st dies nicht möglich.

Die Frage der Giftwirkung des Ozons im Röntgenzimmer iat um so größere Wichtigkeit, als wir nicht umhin können, venn wir die Giftwirkung bejahen müssen, dies beim Bau ieuer Anlagen zu berücksichtigen. Selbst wenn wir nicht innehmen, wie dies z. B. von Dessauer geschieht, daß man n Zukunft mit noch höheren Spannungen arbeiten muß, als lies heute der Fall ist, so können wir doch sicher sagen, daß wir trotz aller Verbesserungen der Hochspannungsleitungstechnik mmer mit einer gewissen Ausstrahlung des hochgespannten Stromes in die Luft, mit einer gewissen mehr oder minder starken dunklen elektrischen Entladung werden rechnen müssen. Das heißt mit anderen Worten: wir müssen stets damit rechnen, daß eine gewisse Ozonmenge beim Betrieb gebildet wird.

Abgesehen davon, daß wir also in der Luft des Röntgen-zimmers Ozonmengen nachgewiesen haben, die, wenn sie länger auf die darin befindlichen Personen einwirken, sicher einen schädlichen Einfluß ausüben, finden wir ja auch bei den oben geschilderten Krankheitssymptomen bei Bestrahlten und haupt-sächlich bei Bestrahlern Erscheinungen, die sich zwanglos als leichte Ozonvergiftungen erklären lassen. Wir meinen da die so schwer zu fassenden Erscheinungen der allgemeinen und psychischen Beschwerden. Geben uns nicht schon die Beschreibungen über Ozonvergiftungen in der Literatur Symptomkomplexe, die wir auch bei den Bestrahlern wiederfinden? Bei beiden zeigt sich zuerst ein allgemeines Wohlbefinden, ja sogar eine unzweifel-hafte Steigerung des Wohlbefindens und damit auch der Ar-beitslust und Arbeitskraft, aber schon bald stellen sich ent-gegengesetzte Erscheinungen ein. Die Personen, Patienten

können wir sie nicht gleich nennen, fühlen sich matter, müder wie sonst, sind abgespannt, haben Neigung zu Schlafsucht und eine herabgesetzte bis verschwundene Arbeitsfähigkeit. Auch die bei den Bestrahlern zu findenden oft so heftigen Kopfschmerzen finden wir bei der chronischen Ozonvergiftung wieder. Wir wollen hier wörtlich anführen, was Schulze (44) bei der Besprechung seiner Versuche über chronische Ozonvergiftung sagt: „Immer wieder von neuem hervorgerufener Gehirnreiz, erzeugt durch die Aufnahme und Weiterführung des Ozons durch das Blut, beeinträchtigt die Atmung von ihrem Zentrum aus so, daß schließlich das Bild der Überanstrengung, des Überreizes und der Arbeitsunfähigkeit daraus resultieren muß."

Im Anschluß daran wollen wir auch noch etwas darauf eingehen, was an der Belästigung von Bestrahlern und Bestrahlten durch den Geruch im Röntgenzimmer Wahres ist. Reusch hat ganz recht, wenn er schreibt, daß der Geruch im Röntgenzimmer nicht ein reiner Ozongeruch sei. Wissen wir doch aus unseren Untersuchungen, daß auch noch salpetrige Säure, Salpetersäure und die Oxydationsprodukte der Luftverunreinigungen (durch das Ozon) in der Röntgenzimmerluft vorhanden sind. Den Hauptanteil an dem Geruch aber stellt sicher das Ozon, schon aus dem einfachen Grunde, weil es einen viel intensiveren Geruch besitzt als alle die anderen Stoffe.

Wir stellen uns also zu der Frage nach der Mitwirkung des Ozons an den Schädigungen im Röntgenzimmer so: Das Ozon kann in der Röntgenzimmerluft, wenn keine Lüftung vorhanden oder sie nicht in Betrieb ist, in solchen Mengen sich bilden, daß diese die von anderer Seite festgestellten toxisch wirkenden Mengen erreichen. Im Gegensatz zur salpetrigen Säure wirkt das Ozon auf die Personen, die sich in dem Raum aufhalten, unzweifelhaft ein. Dabei haben die Symptome, wie wir sie bei Personen beobachten können, die sich länger im Röntgenzimmer aufgehalten haben, eine große Ähnlichkeit mit den Erscheinungen, die wir nach reinen Ozonvergiftungen auftreten sehen. Die Erscheinungen der Müdigkeit, Kopfschmerzen u. s. w. lassen sich durch energische Ozonwegschaffung bessern oder ganz vermeiden, selbst wenn die Salpetrigsäuremenge absichtlich durch künstliche Zufuhr gleichhoch gehalten wird,

Auf Grund der geschilderten Untersuchungen ist also das Ozon als der Hauptfaktor der gasförmigen schädigenden Einflüsse, die während des Betriebes größerer Röntgenapparate in Betracht kommen, anzusehen.

VIII. Die Schutzmassregeln beim Röntgentiefentherapiebetrieb mit spezieller Berücksichtigung der durch obenstehende Untersuchungen gewonnenen Resultate.

Es ist nicht unsere Absicht, im folgenden eine genaue Zusammenstellung zu geben von dem, was man bei der Anlage und dem Betrieb einer Röntgentiefentherapieapparatur alles berücksichtigen muß, sondern wir wollen nur einen kurzen Überblick geben über das, was teils schon aus Besorgnis vor der Röntgengasvergiftung Vorschrift geworden ist, und was man auch ohne gesetzliche Regelung bei einem hygienisch einwandfreien Betrieb verlangen muß. Wir wollen annehmen, daß in bezug auf die Güte des Strahlenschutzes durch Bleiwände und Bleigläser sowie genügend großen Abstand der Regulier- und Schaltstelle von der Röntgenröhre ebenso wie in bezug auf den Raum als solchen (man wird natürlich immer einen möglichst großen wählen) alles in bester Ordnung sei, so verbleiben doch noch einige Punkte, die man leider sehr oft nicht genügend berücksichtigt findet. Wir wollen diese nennen:

1. Vorhandensein unzweckmäßiger Hochspannungsleitungen,
2. zu große und für den Betrieb nicht notwendige Länge der Leitungen,
3. nicht genügendes Instandhalten der Leitungen,
4. ungenügende Ventilation während und vor allem außerhalb der Betriebszeit,
5. allgemein schlechte Lebensbedingungen der im Röntgenzimmer arbeitenden Personen.

Um gleich den letzten als den am schwersten zu beseitigenden und für viele sicher sehr unangenehmen Punkt vorwegzunehmen, so braucht man die Berechtigung zu Klagen über die häufigen Verstöße in dieser Hinsicht wohl nicht besonders nachzuweisen. Es handelt sich dabei weniger um das Personal, das in einem größeren Krankenhaus oder in einem staatlichen

bezw. gemeindlichen Röntgeninstitut tätig ist, sondern um das Röntgenfräulein, das bei einem Privatarzt von früh bis spät allein die Bestrahlungen vornimmt. Ein moderner Röntgentiefentherapiebetrieb stellt an den ganzen Körper und besonders an das Nervensystem der damit beschäftigten Personen die größten Anforderungen, Anforderungen, die ein der Sache fern stehender gar nicht ermessen kann. Es ist nicht einfach so, daß man nur, wie es manchmal leider noch geschieht, die Röhre über den Leib der Patienten zu stellen und nun 5 Minuten lang in leidlich konstantem Betrieb zu erhalten braucht, sondern die jetzt erst mögliche Bekämpfung des Karzinoms z. B. erfordert peinlich genaue, über Stunden sich hinziehende Wartung von Röhre, Apparat u. s. w., sofern man nicht den Patienten teils durch Unterdosierung, teils durch Setzung einer Verbrennung ernstlich schädigen will. Seit der Einführung des Regenerierautomaten durch Wintz ist ja in dieser Hinsicht eine große Besserung, d. h. eine Erleichterung für das Personal und eine größere Sicherung des Patienten vor Über- resp. Unterdosierung eingetreten, aber vollkommen automatisch ist der Betrieb auch heute noch nicht.

Aus diesem Grunde ist auch die Personalfrage eine so brennend wichtige geworden. Ein solch differentes Heilmittel, wie es die Röntgenstrahlen geworden sind, können wir nur dann in die Hand des ärztlichen Hilfspersonals geben, wenn wir uns nicht nur auf dessen Gewissenhaftigkeit, sondern auch auf dessen gründliche Ausbildung wirklich verlassen können. Es ist bekanntlich heute üblich geworden, daß auch die Töchter aus den gehobenen Bevölkerungskreisen sich einem Beruf zuwenden, der sie gegebenenfalls ernähren soll, und da besteht dann oft die große Schwierigkeit, welchen Beruf sie wählen sollen. Wir sehen da jetzt ähnliche Zustände wie vor einigen Jahren, als die Laboratoriumsassistentin den jungen Damen als das Ideal aller Berufe erschien. Auch damals wurden Kurse eröffnet, die für viel Geld und mit wenig Erfolg die Teilnehmer „perfekt“ für Mikroskopie, Chemie und was sonst alles noch in $^1/_4$ bis $^1/_2$ Jahr ausbildeten. Wenn dann aber der Beruf wirklich ausgeübt werden sollte, so sah man erst, daß herzlich wenig hinter der Ausbildung steckte. Genau so ist es heute mit der privaten Ausbildung als „Röntgenfräulein.“

Wir wollen hier, um gerecht zu sein, zugeben, daß es auch Ausnahmen in diesen Unterrichtskursen gibt, die wirklich das beste geben, was sie geben können; aber fast alle leiden doch darunter, daß sie, weil von Privatleuten geführt, pekuniär nicht glänzend fundiert sind, und außerdem daran, daß sie die Handhabung aller möglichen Apparate, vielleicht auch noch der Aufnahmentechnik u. s. w. lehren, d. h. Kenntnisse vermitteln, die später gar nicht mehr zur Anwendung kommen.

Auch müßten sich die Personen, die sich diesem Berufe widmen und ihn auch wirklich ausüben wollen, körperlich dazu eignen. Wie wir schon oben ausführten, werden im Tiefentherapiebetrieb an den Körper sehr große Anforderungen gestellt, und deshalb ist es ein Unrecht, wenn eine körperlich schwache Person diesen Beruf ergreift. Auch über die immerhin doch mögliche Sterilisation sind die Personen im Hinblick auf eine spätere Heirat aufzuklären.

Alle bisherigen Erfahrungen sprechen dafür, daß eine körperlich nicht genügend kräftige Person früher oder später den Anforderungen des Röntgenbetriebs nicht stand hält.

Deshalb halten wir es für dringend notwendig, daß die ganze Frage der röntgenologischen Tätigkeit, besonders des Hilfspersonals staatlich geregelt wird. Eine staatliche Regelung ist auf diesem Gebiet ebenso dringend nötig, wie es bei dem Beruf der Hebamme der Fall war. Heute erscheint es uns selbstverständlich, daß der ganze Stand der Hebammen unter staatlicher Aufsicht steht, — warum sollte sich eine solche Regelung nicht auch beim Röntgenpersonal durchführen lassen? Dabei könnte etwa nach folgenden Leitsätzen verfahren werden: Nach einer Prüfung des Körperzustandes und der geistigen Fähigkeiten, wobei besonders an die letzteren die größten Anforderungen zu stellen sind, erhält die Schülerin an einem staatlichen Institut eine mindestens einjährige gründliche theoretische und vor allem praktische Ausbildung; nach dieser Zeit muß sie sich einer sowohl theoretischen als auch praktischen Prüfung unterziehen, und jetzt erst dürfte sie die Genehmigung bekommen, immer unter ärztlicher Kontrolle arbeitend, ihren Beruf auszuüben. In gewissen Zeiträumen hätte sie weiterhin an Wiederholungskursen teilzunehmen.

Wir sprachen bis jetzt nur von dem röntgenologischen Hilfspersonal, immer in der Annahme, daß dessen Tätigkeit stets unter ärztlicher Leitung erfolge, und zwar nicht nur unter der Leitung, sondern auch unter der Kontrolle des Arztes. Allein eine wirkliche Kontrolle ist ja nur möglich, wenn der Arzt selbst vollständig in die Materie eingeweiht ist; das aber ist durchaus nicht immer der Fall. Wir finden leider oft genug Ärzte, die so wenig von der eigentlichen Röntgentechnik verstehen, daß sie fast ganz auf ihr Personal angewiesen sind. Selbst solche Ärzte, die sich ohne genügende chirurgische Ausbildung keine größere Operation zu machen getrauen würden, stehen nicht an, die Strahlenbehandlung ihrem Personal zu überlassen, da sie selbst nicht die Zeit oder Geduld hatten, sich gründlich in die Röntgentechnik einzuarbeiten. Das ist ja nun nicht schlimm, solange das Personal gut ist, und solange der Arzt sich an nichts weiter wagt als z. B. an klimakterische Blutungen. Verderblich aber wird es für den Patienten, wenn auch die Röntgentherapie des Karzinoms in Angriff genommen wird. Dann wird der Arzt, der nicht sehr gut in die Technik eingearbeitet ist, der nicht selbst die Einstellung der Felder von den Gesichtspunkten seines Untersuchungsergebnisses aus vornimmt, immer nur negative Erfolge haben. Und aus diesem Grunde kommen wir auch bei der röntgenologischen Tätigkeit der Ärzte wieder zu dem Ergebnis, daß auch hier die staatliche Kontrolle eintreten muß, daß auch die Ärzte, die Röntgentherapie treiben wollen, eine theoretische und praktische Prüfung ablegen müssen, und zwar auch hier wieder nach einer mindestens $^1/_2$—1jähriger Tätigkeit an einem staatlichen Röntgeninstitut. Natürlich wird man bei den Ärzten mehr auf eine medizinische, bei dem Hilfspersonal mehr auf eine technische Ausbildung Wert legen, beide aber müssen über Theorie und Praxis unterrichtet sein, soll ihre Tätigkeit zum Wohle der Patienten dienen.

Nach dieser kurzen, aber zur Beurteilung der ganzen Verhältnisse notwendigen Abschweifung wollen wir weiter feststellen, welche Lebensbedingungen wir für die im Röntgenzimmer arbeitenden Personen schaffen müssen, um bei ihnen keine Schädigung hervorzurufen und sie ganz gesund zu erhalten. Da steht obenan der Schutz vor den Strahlen, ein Thema, auf das wir

aber, weil nicht unmittelbar zu unserer Untersuchung gehörig, nicht weiter eingehen wollen. Mindestens ebenso wichtig ist es jedoch auch, dem Personal die Möglichkeit zu geben, an die frische Luft zu gehen und sich körperlich zu erholen. Dazu gehört ferner noch eine unbedingt ausreichende Ernährung und ein reichlich bemessener Schlaf. Verhältnismäßig leicht läßt sich, wenigstens in Friedenszeiten, die gute Ernährung erreichen, nicht so leicht aber wegen der langen, oft über die Mittagszeit sich ausdehnenden Arbeit eine ausreichende Erholungszeit. Aus diesen Gründen ist auch hier in der Frauenklinik eine Einteilung unter dem röntgenologischen Hilfspersonal getroffen worden, derart, daß Gruppen gebildet wurden, die sich gegenseitig ablösen und vertreten, so daß es jeder Person möglich gemacht wird, zweimal wöchentlich, ganz abgesehen von den vollständig dienstfreien Sonntagen, nachmittags auszugehen oder sich nach Belieben zu erholen. Durch diese Einteilung und Regelung ist nicht nur die Leistungsfähigkeit der einzelnen Person gestiegen, sondern auch die durch Übermüdung hervorgerufene Unachtsamkeit und Unzuverlässigkeit auf ein Mindestmaß herabgesetzt worden.

Was die weiteren Fehler betrifft, die wir bei einem guten Röntgenbetrieb vermeiden müssen, so kommen da die in unserer Zusammenstellung erwähnten Hochspannungsleitungen in Betracht, denen wir eine viel größere Aufmerksamkeit zuwenden müssen, als es bis jetzt geschehen ist.

Wir wissen, daß die Hochspannungsleitung, abgesehen von der Parallelfunkenstrecke, die so gestellt ist, daß der Funke eben nicht mehr übergeht, die Hauptquelle der Ozonbildung ist; deshalb ist es wichtig festzustellen, wie dieser bedeutungsvolle Teil unserer Apparatur beschaffen sein muß. Es ist eine alte, schon bei dem Betrieb der Influenzmaschine gemachte Erfahrung, daß eine Hochspannungsleitung um so mehr Strom in die umgebende Luft abströmen läßt, je rauher ihre Oberfläche ist, und je mehr Spitzen sie besitzt. (Die Wirkung der rauhen Oberfläche müssen wir uns so vorstellen, daß die kleinen Unebenheiten als kleine Spitzen wirken.) Wir achten also darauf, daß nur blanke, polierte Leitungen mit abgerundeten Ecken zur Anwendung kommen, so wie dies von Kohler geschildert und in der letzten Zeit von Wintz bei seinem Leitungsstativ durchgeführt wurde. Unser Bestreben geht also hauptsächlich dahin,

die stromabgebende und somit Ozon bildende Oberfläche möglichst zu verkleinern; aus demselben Grunde werden wir auch darauf sehen, daß die Leitungsdrähte nicht unnütz lang sind, also nur so lang, als es unbedingt sein muß. Jeder Meter Hochspannungsleitung, der sich vermeiden respektive aus dem Bestrahlungsraum verlegen läßt, vermindert die gebildete Ozonmenge um ein gut Teil.

Und nun noch eins in betreff der Hochspannungsleitung: Unbedingt erfordert auch die Leitung eine gewisse, wenngleich geringe Wartung; auch sie muß nach einer je nach der Betriebsdauer verschieden langen Zeit mechanisch gereinigt und von dem aufsitzenden Staub u. s. w. befreit werden. Es nützt uns gar nichts, wenn die Apparatur und die Hochspannungsleitungen bei Betriebsanfang tadellos imstande waren, denn schon nach kurzer Zeit sind sie ganz dick mit Staub belegt, der dann eine stark vermehrte Ausstrahlung des Stromes in die Luft, d. h. eine stark vermehrte Ozonbildung im Gefolge hat.

Wir sehen also, daß wir die Hochspannungsleitung, um ihre schädigenden Nebenwirkungen und die Stromverluste möglichst zu beschränken, tunlichst kurz machen müssen; wir können aber noch bessere Verhältnisse schaffen, indem wir, wie es bei der Coolidgeapparatur in der Erlanger Frauenklinik schon lange praktisch durchgeführt ist, Maschinenraum und Bestrahlungsraum voneinander trennen. Dadurch bewirken wir noch einmal eine ganz bedeutende Verminderung der Länge der Hochspannungsleitung im Bestrahlungszimmer. Selbstverständlich wird man aber auch nach der Trennung von Bestrahlungsraum und Maschinenraum darauf sehen, daß die Leitungen möglichst kurz sind, d. h. man wird nicht, wie das Kohler tut, die beiden Räume weit voneinander trennen, sondern sie so wählen, daß an der die beiden Zimmer trennenden Scheidewand Hochspannungsmaschine und Bestrahlungstisch zu stehen kommen. Dann wird man erreichen, daß die Länge der Hochspannungsleitung nur $2^1/_2$ bis 3 Meter beträgt. Daß zur Befestigung der Hochspannungsleitung nur Porzellan, Glas und die neuerdings wohl bewährten Pertinaxformteile zu verwenden sind und nicht, wie dies bis jetzt vielfach geschah, Schnüre u. dgl., bedarf nur der Erwähnung.

Nicht viel ändern können wir hingegen an dem wechselnden Stromverlust durch dunkle elektrische Entladung, der dadurch

hervorgerufen wird, daß der Feuchtigkeitsgrad der Luft und damit deren Isolationsfähigkeit ziemlich großen Schwankungen unterworfen ist. Doch läßt sich auch da, z. B. in nebeliger Gegend, durch Einblasung von warmer und womöglich getrockneter Luft, wenn nötig, eine Besserung erzielen.

Durch all diese Maßnahmen gelingt es nun zwar, die Ozonbildung herabzusetzen, immer aber wird doch noch eine, wie wir uns vorstellen, nicht unbeträchtliche Menge Ozon gebildet werden, und diese müssen wir, da wir ihre Entstehung nicht verhindern können, nachträglich aus dem Bestrahlungsraum entfernen. Und dazu ist das souveraine Mittel die künstliche mechanische Ventilation. Die natürliche Ventilation durch die Wand, durch das Öffnen der Fenster ist einesteils ungenügend, andernteils auch wegen der dadurch entstehenden technischen Störungen, wie einseitige Abkühlung der Röhren, Flackern der Regenerationsflamme, Verstaubung der Apparate nicht gut durchführbar. Aus diesem Grunde müssen wir zur mechanischen Ventilation unsere Zuflucht nehmen. Natürlich werden wir da dem elektrischen Betrieb als dem sichersten und wirksamsten den Vorzug geben. Wir können die Ventilation auf zweierlei Weise erzielen, einmal dadurch, daß wir die verunreinigte Luft absaugen, und dann dadurch, daß wir frische, gegebenenfalls vorgewärmte Luft einblasen, wobei wir dann natürlich für richtige Entfernung der verunreinigten Luft sorgen müssen. Welchem System man den Vorzug geben wird, hängt von den Räumlichkeiten, von der Heizungsmöglichkeit und von der Aufstellung der Apparate ab. In der hiesigen Röntgenabteilung hat sich die Luftabsaugung mit einem elektrischen Ventilator von 40 cm Propellerdurchmesser ausgezeichnet bewährt. Stark riechende und daher leicht wahrzunehmende Gase, die versuchsweise in den Raum gebracht wurden, konnten schon nach 2 Minuten langem Laufenlassen des Ventilators nicht mehr durch den Geruch nachgewiesen werden.

Die Verminderung der Ozonmenge in der Röntgenzimmerluft hat, wie wir hier noch einfügen wollen, nicht nur hygienische Vorteile, sondern trägt auch dazu bei, die Apparatur in gutem Zustand zu erhalten. Sind wir doch durchaus berechtigt das auffallend schnelle Brüchigwerden der Gummischläuche im Röntgenzimmer und das Trübwerden der blanken Metallleitungen an

der Hochspannung auf das Ozon zurückzuführen. Gerade die Metallteile der Hochspannungsleitung sind ja, da an ihnen das Ozon entsteht, besonders seiner oxydierender Wirkung ausgesetzt.

Vorstehende Ausführungen enthalten die Hauptfolgerungen, die wir aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen ziehen müssen, und wenn wir diese Folgerungen in die Praxis umsetzen, so dürfen wir mit gutem Grund behaupten, daß die Gefahr sowohl einer akuten wie auch einer chronischen Ozonvergiftung bei ordnungsmäßigem Betrieb vermieden werden kann.

Ferner ersehen wir aus unsern Untersuchungen, daß die Besorgnis vor der Vergiftung mit salpetriger Säure unbegründet ist, daß aber andererseits die Möglichkeit einer Schädigung durch Ozon bisher nicht scharf genug erkannt worden war.

Zum Schluß wollen wir zur Erleichterung der Übersicht die entscheidenden Ergebnisse, zu denen wir in den einzelnen Abschnitten der ganzen Experimentalarbeit gelangt sind, in folgenden Sätzen zusammenfassen.

1. Die Möglichkeit einer Schädigung durch die Röntgenzimmerluft besteht in der Hauptsache allein bei den Bestrahlern, nur im Falle großer Überempfindlichkeit und bei sehr langer Bestrahlungsdauer auch bei den Bestrahlten.

2. Die salpetrige Säure und auch die anderen nitrosen Gase sind in den nachgewiesenen Mengen von so geringer Giftigkeit, daß sie zur Erklärung der beim Röntgenbetrieb auftretenden Beschwerden nicht herangezogen werden können.

3. Die klinischen Symptome der Erkrankung, die bei den Bestrahlern vorkommt, entsprechen nicht denen einer Vergiftung mit nitrosen Gasen.

4. Die Mengen von salpetriger Säure und nitrosen Gasen, die in chemischen Laboratorien angetroffen werden, übertreffen die in der Röntgenzimmerluft vorkommenden Mengen um das 10- bis 20fache, ohne daß hier die Erscheinungen der „Röntgengasvergiftung“ beobachtet werden.

5. Die Bestrahlerbeschwerden sind keine einheitliche Erkrankung, sondern entstehen durch die chro-

nische Ozoneinatmung, durch die Einwirkung der vagabundierenden Röntgenstrahlen und durch die Aufladungen der im Röntgenzimmer sich aufhaltenden Personen und werden in ihrer Entstehung begünstigt durch die schlechten hygienischen Verhältnisse, unter denen die Bestrahler stehen.

6. Der Röntgenzimmergeruch entsteht durch das Ozon, wobei der reine Ozongeruch etwas verunreinigt ist durch das Vorhandensein kleiner bis kleinster Mengen von salpetriger Säure und Salpetersäure und von Oxydationsprodukten sonstiger gasförmiger und auch korpuskulärer Luftverunreinigungen.

7. Die im nichtventilierten Röntgenzimmer nachgewiesenen Ozonmengen erreichen fast die von anderer Seite festgestellte toxische Ozondosis.

8. Die bei den Bestrahlern zu beobachtenden Symptome zeigen eine große Ähnlichkeit mit den Erscheinungen, die bei der chronischen Vergiftung mit reinem Ozon auftreten. Auch bei überempfindlichen Bestrahlten können ähnliche Symptome gelegentlich beobachtet werden.

9. Bei ordnungsmäßigem Tiefentherapiebetrieb besteht die Gefahr einer akuten ernsten Ozonvergiftung nicht.

10. Durch zweckentsprechende Wahl und Einrichtung des Röntgenzimmers, durch ordnungmäßige Leitung des Röntgenbetriebs und durch sorgsame Wartung der gesamten Apparatur läßt sich die Ozonbildung auf ein Mindestmaß herabdrücken. Die geringfügige Ozonmenge aber, deren Bildung auch bei bestgeleitetem Betrieb unter keinen Umständen zu vermeiden ist, läßt sich durch eine gute mechanische Ventilation beseitigen.

Vorliegende Arbeit wurde in der Röntgenabteilung und im chemischen Laboratorium der Universitäts-Frauenklinik in Erlangen ausgeführt. Meinem hochverehrten Chef, Herrn Geheimrat Professor Dr. L. Seitz, möchte ich auch an dieser Stelle herzlichst danken für das stets freundliche Entgegenkommen und rege Interesse bei Ausführung der Arbeit. Auch Herrn Privatdozenten Oberarzt Dr. H. Wintz bin ich für manche Anregung und Überlassung des Arbeitsmaterials zu großem Dank verpflichtet. Herzlichen Dank auch Herrn Professor Dr. O. Schulz für die liebenswürdige Unterstützung bei Drucklegung der Arbeit.

Literatur.

1. Wintz und Baumeister, Das Symmetrieinduktorium für Röntgentiefentherapie. Münch. med. Wochenschr. **1917**, Nr. 6, S. 445.
2. Reusch, Gasvergiftung im Röntgenzimmer. Münch. med. Wochenschr. **1917**, Nr. 14, S. 1265.
3. Paul, Merkblatt: Verhalten bei Fliegerangriffen. Münch. med. Wochenschr. **1917**, Nr. 5, S. 173.
4. Rieder, Die Beseitigung nitroser Gase und überlauter Geräusche im Röntgenzimmer. Münch. med. Wochenschr. **1917**, Nr. 39, S. 792.
5. Warnekros, Beseitigung der Röntgengase durch Absaugeentlüftung. Münch. med. Wochenschr. **1917**, Nr. 50, S. 1605.
6. Kohler, Über wichtige Grundsätze bei der Anlage von Röntgenbehandlungsräumen. Münch. med. Wochenschr. **1918**, Nr. 21, S. 556.
7. Mathes, Zur Fernhaltung der Röntgengase. Münch. med. Wochenschr. **1918**, Nr. 29, S. 792.
8. Lorey, Gasvergiftung im Röntgenzimmer und deren Verhütung. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. **25**, S. 212 ff.
9. Wintz, Die Gasvergiftung im Röntgenzimmer. Münch. med. Wochenschr. **1918**, Nr. 11, S. 297.
10. Zadek, Massenvergiftung durch Einatmung nitroser Gase. Chem. Zentralbl. **1916**, I, S. 990.
11. Bucky, Merkblatt für Röntgenzimmer.
12. Wiesner, Frühzeitige allgemeine Verknöcherung der Rippenknorpel — eine Röntgenschädigung? Münch. med. Wochenschr. **1910**, Nr. 21, S. 1124.
13. Lunge. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **10** (1877), S. 1075.
14. Chabrier. Compt. rend. **68** (1869), S. 540 u. Chem. Zentralbl. **1871**, S. 583. Compt. rend. **73**, S. 1273.
15. Koppelsröder. Journ. f. prakt. Chem. **4** (1871), S. 139 u. 383. Ztschr. f. analyt. Chem. **10**, S. 259.
16. Ilosvay de Ilosva. Jahresber. üb. d. Fortschr. d. Chem. **1889**, S. 349, 403.
17. Walter Hayhurst u. John Norman Pring. Journ. chem. Soc. London **97**, S. 868—877.
18. Treadwell, Lehrbuch der analytischen Chemie, S. 285. 1911.
19. Fremy und Becquerel. Compt. rend. **34**, S. 399; Jahresber. üb. d. Fortschr. d. Chem. **1852**, S. 302.

20. v. Babo. Ann. Pharm. Suppl. 2, S. 297.
21. Boche. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 6 (1873), S. 439.
22. Shenstone u. Cundall. Journ. Chem. Soc. London 51 (1887), S. 610.
23. Beill. Monatsh. f. Chem. 14 (1893), S. 71.
24. Chassy. Compt. rend. 133 (1901), S. 789.
25. Berthelot. Compt. rend. 86 (1878), S. 76.
26. Pless u. Pierre. Wien. Akad. Ber. 22, S. 211; Jahresber. üb. d. Fortschr. d. Chem. 1857, 79.
27. Zenger. Wien. Akad. Ber. 24, S. 88.
28. Böttger. Journ. prakt. Chem. 95, S. 31, J. B. 1865, S. 123.
29. Engler-Wild. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 1896, S. 1940. Chem. Zentralbl. 1896, II, S. 465.
30. Fremy. Compt. rend. 61, S. 939; Jahresber. üb. d. Fortschr. d. Chem. 1865, S. 122.
31. Manchot u. Kampschulte. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 40 (1907), S. 2891; 42, S. 3942 ff.
32. Arnold-Mentzel. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 1902, S. 2902; Ztschr f. analyt. Chem. 1904, S. 50.
33. Chlopin. Chem. Zentralbl. 1902, II, S. 157.
34. Wurster. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 19, S. 3195; 21, S. 921.
35. Erlwein-Weyl. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 31, S. 3158. Ztschr. f. analyt. Chem. 40, S. 113.
36. Francis Lawry Usher u. Basrur Sanjiva Rao. Journ. chem. Soc. London. 111, S. 799; Referat Chem. Zentralbl. 1918, I, S. 656.
37. Dewar u. Mc. Kendrick. Pogg. Ann. 152 (1874), S. 329.
38. Leonard Hill u. Martin Flack. Proc. Royal. Soc. London, Serie B, 84, S. 404—415.
39. Labbé u. Oudin. Compt. rend. 113 (1891), S. 141.
40. Binz. Zentralbl. f. d. med. Wiss. 20, S. 721; 23, S. 45.
41. Herrmann Sonntag. Chem. Zentralbl. 1890, I, S. 686.
42. David. Münch. med. Wochenschr. 1914, S. 1913.
43. Marek. Ztschr. f. Hyg. u. Infektionskr. 1916 (81. Band), Heft 2.
44. Schulz u. de Christmas. Chem. Zentralbl. 1894, I, S. 520.
45. Konrich. Ztschr. f. Hyg. u. Infektionskr. 1913 (73. Band), 3. Heft.
46. Schmidt, Taschenb. des Röntgenverfahrens, Bd. 8, S. 99 ff.

Lebenslauf.

Ich, Dr. phil. Heinrich Guthmann, bin am 7. Juli 1893 geboren zu Nürnberg als Sohn des Kaufmanns Friedrich Guthmann und seiner Gemahlin Helene Guthmann, geb. Bauer, bin evangelischer Konfession und deutscher Staatsangehöriger. Zuerst besuchte ich die Vorschule des humanistischen Gymnasiums zu Nürnberg, dann dieses selbst, von der 4. Klasse an das Realgymnasium zu Nürnberg, an welchem ich mir auch Juli 1911 das Absolutorialzeugnis erwarb. Darauf studierte ich auf den Universitäten zu Erlangen und München Medizin und Chemie, bestand 1913 das anorganische, 1914 das organische Verbandsexamen und März 1915 die ärztliche Vorprüfung. Herbst 1915 erwarb ich mir auf Grund der Arbeit: „Zur Kenntnis des N-Methyl-α-chinolons und seiner α-Halogenderivate“ den Dr. phil., vollendete Herbst 1917 das medizinische Staatsexamen und Herbst 1918 das praktische Jahr. Seit August 1916 bin ich an der Universitäts-Frauenklinik zu Erlangen tätig, woselbst ich seit März 1918 Assistent bin.